

REGIANE DALAZOANA

# **IMPLICAÇÕES NA CARTOGRAFIA COM A EVOLUÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO E FUTURA ADOÇÃO DO SIRGAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Ciências  
Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências  
Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Univer-  
sidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

Co-orientadora:

Eng.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sônia Maria Alves Costa

**CURITIBA**

**2001**


**“IMPLICAÇÕES NA CARTOGRAFIA COM A EVOLUÇÃO DO  
SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO  
E FUTURA ADOÇÃO DO SIRGAS”**

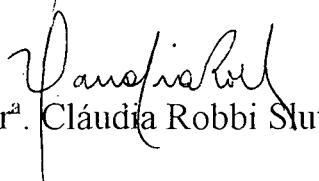
**POR**

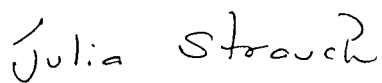
**REGIANE DALAZOANA**

Dissertação nº 159 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade  
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 13 de dezembro de 2001.

  
Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas (UFPR)  
Orientador e Presidente

  
Prof.ª Dr.ª Cláudia Robbi Sluter – Membro (UFPR)

  
Eng.ª Dr.ª Júlia Céla Mercedes Strauch – Membro (EMBRAPA/RJ)

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado aos meus pais Elena e Osvaldo, pelo amor, atenção, apoio e  
incentivo que sempre me foi dado;  
A Cristiane, Glaciane, Ana Caroline e Henrique;  
Ao Antônio, meu amigo e companheiro de todas as horas.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela luz e pela saúde.

A minha família, pelo carinho e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas e co-orientadora Eng<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sônia Maria Alves Costa, pelas críticas e sugestões.

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que através de seu Departamento de Geodésia disponibilizou os dados utilizados neste trabalho.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Ao Ten. Brilhante pela cooperação via telefone e e-mail.

A Eng<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Júlia Célia Mercedes Strauch da Embrapa Solos no Rio de Janeiro, ao Prof. Dr. Luiz Augusto Koenig Veiga e à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Robbi Sluter pelas críticas e sugestões apresentadas por ocasião do Exame de Qualificação.

Ao mestre Moisés pelo auxílio com o MatLab.

Aos meus colegas e professores do Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
<b>2 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E SUA EVOLUÇÃO NO BRASIL</b> .....	7
2.1 TAMANHO E FORMA DA TERRA.....	7
2.1.1 Posição e Orientação do Elipsóide de Referência.....	9
2.1.2 Coordenadas Geodésicas de um Ponto.....	11
2.2 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E REDES GEODÉSICAS.....	15
2.3 O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO.....	19
2.3.1 Sistema com Datum Córrego Alegre.....	19
2.3.2 O Datum Sul Americano de 1969 (SAD 69).....	23
2.3.3 A Nova Realização do SAD 69.....	31
2.4 ADOÇÃO DE UM SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA A AMÉRICA DO SUL.....	38
<b>3 A CARTOGRAFIA SISTEMÁTICA NO BRASIL</b> .....	47
3.1 O MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NACIONAL.....	48
3.1.1 A Articulação do Mapeamento Sistemático.....	55
3.2 SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA.....	57
3.3 O SISTEMA UTM.....	60
3.3.1 Transformação de Coordenadas Geodésicas para Coordenadas UTM.....	64
3.3.1.1 Solução Para o Problema Direto.....	65
<b>4 ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À EVOLUÇÃO DO SGB E ADOÇÃO DO SIRGAS</b> .....	69
4.1 A PROPOSTA DA TRANSLAÇÃO DE GRID.....	69
4.2 ASPECTOS RELACIONADOS À EVOLUÇÃO DO SGB.....	72
4.2.1 Comparação Córrego Alegre – SAD69 (Realização Inicial).....	73
4.2.2 Comparação SAD69 (Realização Inicial) – SAD69 (Realização 1996).....	81
4.3 ASPECTOS RELACIONADOS À ADOÇÃO DO SIRGAS.....	86
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	90
5.1 CONCLUSÕES.....	90
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	92
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	93
<b>APÊNDICE 1 – RESULTADOS DO AJUSTAMENTO – DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE CÓRREGO ALEGRE E SAD69</b> .....	96
<b>ANEXO 1 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO – SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA COM DATUM CÓRREGO ALEGRE</b> .....	108
<b>ANEXO 2 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO – SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA SAD69 (REALIZAÇÃO INICIAL)</b> .....	113
<b>ANEXO 3 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO – SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA SAD69 (REALIZAÇÃO 1996)</b> .....	118

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	ELIPSÓIDES BIAXIAIS .....	9
TABELA 2	QUANTITATIVO DE CARTAS EM CÓRREGO ALEGRE .....	20
TABELA 3	COORDENADAS DO VÉRTICE CHUÁ .....	24
TABELA 4	QUANTITATIVO DE CARTAS EM SAD 69 .....	30
TABELA 5	EFEITO DA VARIAÇÃO DE 15 M NAS ESCALAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO .....	33
TABELA 6	COORDENADAS NA REALIZAÇÃO SAD 69 E SAD 69 (1996) DA REDE GPS DE ALTA PRECISÃO DO PARANÁ .....	35
TABELA 7	DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS GEODÉSICAS (LATITUDE E LONGITUDE) E VETOR HORIZONTAL RESULTANTE PARA A REDE GPS DE ALTA PRECISÃO DO PARANÁ .....	36
TABELA 8	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO SAD 69 (REALIZAÇÃO 96) PARA SIRGAS – TESTE DE 3, 4 E 7 PARÂMETROS COM 11 ESTAÇÕES .....	45
TABELA 9	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DE SAD 69 (REALIZAÇÃO 96) PARA SIRGAS – TESTE COM 4 ESTAÇÕES .....	45
TABELA 10	EFEITO DA DIFERENÇA ENTRE O SAD 69 (1996) E O SIRGAS NAS DIFERENTES ESCALAS DO MAPEAMENTO .....	46
TABELA 11	ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NACIONAL .....	51
TABELA 12	CÓDIGOS DE ZONA .....	56
TABELA 13	PARÂMETROS REGIONAIS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE - SAD69 .....	76
TABELA 14	PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE - SAD69 .....	79
TABELA 15	EFEITO DA VARIAÇÃO NA COORDENADA DO VÉRTICE CLEVELÂNDIA .....	81
TABELA 16	DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS UTM (NORTE E ESTE) E VETOR HORIZONTAL RESULTANTE – VÉRTICES AJUSTADOS PELO IBGE .....	83
TABELA 17	DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS UTM (NORTE E ESTE) E VETOR RESULTANTE – VÉRTICES AJUSTADOS PELO <i>U.S. ARMY MAP SERVICE</i> .....	84

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS DO PONTO P.....	12
FIGURA 2	DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE DE UMA RN SITUADA PRÓXIMA AO MARÉGRAFO.....	16
FIGURA 3	SUBDIVISÃO DA REDE GPS DO PARANÁ EM FIGURAS.....	27
FIGURA 4	VETORES DE VARIAÇÃO DAS COORDENADAS HORIZONTAIS DA RGB SAD 69 (1996) RELATIVAMENTE AO SAD 69 (REALIZAÇÃO INICIAL).....	34
FIGURA 5	VETORES DE VARIAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS ENTRE AS DUAS REALIZAÇÕES DO SAD 69 PARA A REDE GPS DO ESTADO DO PARANÁ.....	37
FIGURA 6	REDE SIRGAS 1995.....	41
FIGURA 7	REDE SIRGAS 2000.....	42
FIGURA 8	ÁREAS DE ATUAÇÃO DAS DIFERENTES DL'S.....	49
FIGURA 9	COLEÇÃO DAS CARTAS DO BRASIL AO MILIONÉSIMO.....	50
FIGURA 10	SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:250.000.....	52
FIGURA 11	SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:100.000.....	52
FIGURA 12	SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:50 000.....	53
FIGURA 13	CÓDIGO REFERENTE AO FUSO.....	56
FIGURA 14	ARTICULAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO.....	57
FIGURA 15	RELACIONAMENTO ENTRE A SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA E A DE PROJEÇÃO.....	58
FIGURA 16	DISPOSIÇÃO DOS MERIDIANOS E PARALELOS NA PROJEÇÃO UTM.....	62
FIGURA 17	FATOR DE ESCALA E SUA LOCALIZAÇÃO NO FUSO UTM.....	63
FIGURA 18	CONVERGÊNCIA MERIDIANA.....	64

## RESUMO

Os produtos cartográficos existentes no país estão baseados em diferentes sistemas de referência e suas realizações que ainda hoje coexistem no Brasil. O mesmo ocorre com o mapeamento sistemático nacional cuja produção é de responsabilidade do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico). Estes diferentes sistemas de referência são: o com Datum em Córrego Alegre e o SAD 69 (*South American Datum of 1969*) composto de uma realização inicial e da realização de 1996. As potencialidades dos métodos de posicionamento por satélites, aliado ao fato dos sistemas ditos clássicos não possuírem precisão compatível com as atuais técnicas de posicionamento, fez com que muitos países adotassem sistemas de referência geocêntricos. Neste sentido foi criado na América do Sul o projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul e atualmente para as Américas). A futura adoção do SIRGAS como sistema oficial no Brasil segue uma tendência lógica tendo em vista os avanços tecnológicos e científicos. Porém, a adoção de um novo referencial implica na necessidade de integração dos dados e mapas já gerados ao novo sistema. Nesse sentido, procura-se com este trabalho averiguar as implicações advindas da evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e as implicações relacionadas à adoção de um novo referencial no país.

## ABSTRACT

The existent cartographic products in the country are based on different reference systems and their realisations that coexist in Brazil. The same happens with the national systematic mapping whose production is responsibility of IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*) and of DSG (*Diretoria de Serviço Geográfico*). These different systems are: the system based on Córrego Alegre Datum and SAD 69 (South American Datum of 1969) initial realisation and realisation of 1996. The potentialities of the satellites positioning methods associated with the fact that the classical systems do not have compatible precision according to the current positioning techniques, many countries have already adopted geocentric reference systems. In this sense it was created in South America the project SIRGAS (Geocentric Reference System for the South America and now for the Americas). In Brazil, the future adoption of the SIRGAS as an official system follows a logical tendency, keeping the technological and scientific progresses in sight. With the adoption of SIRGAS, it's necessary to integrate the data and maps already generated to the new system. In this work the implications of the evolution of the Brazilian Geodetic System and the adoption of a new system in the country are discussed.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As agências e as empresas responsáveis pela produção cartográfica no país realizam inúmeros produtos, os quais cobrem a mesma área, para diferentes usos e em diferentes escalas, baseados nos Sistemas de Referência e suas diferentes materializações que ainda hoje coexistem no Brasil. O Sistema de Referência cujo Datum é o vértice Córrego Alegre foi oficialmente adotado no Brasil da década de 50 até a década de 70. No final da década de 70 adotou-se o SAD 69 (*South American Datum 1969*) como Sistema de Referência oficial do país. Este sistema sofreu um reajustamento em 1996, resultando em novas coordenadas para os vértices da Rede Geodésica Brasileira. Porém, apesar do SAD 69 ser o sistema oficial do país, a maior parte da cartografia sistemática está referenciada ao sistema com o Datum Córrego Alegre. Segundo o IBGE (2000, p.24), existem 2891 cartas referenciadas ao Córrego Alegre, considerando as escalas de 1:1 000 000; 1:250 000; 1:100 000; 1:50 000 e 1:25 000, e referenciadas ao SAD 69 um total de 1913 cartas, considerando as escalas de 1:250 000; 1:100 000; 1:50 000 e 1:25 000. Além destas, algumas cartas foram editadas no sistema Astro Datum Chuá, que foi um sistema de referência provisório entre Córrego Alegre e SAD 69.

O surgimento dos métodos de posicionamento por satélites possibilitou a obtenção simultânea das três coordenadas que definem a posição de um ponto no espaço com grande precisão. Visando aproveitar a potencialidade destes métodos de posicionamento aliado ao fato das redes clássicas não possuírem precisão compatível com as atuais técnicas de posicionamento, muitos países, como por exemplo: Canadá, Estados Unidos, Austrália, África do Sul e Nova Zelândia, já adotaram sistemas de referência geocêntricos. Um Sistema Geodésico de Referência Geocêntrico possui uma série de vantagens em relação aos sistemas de referência clássicos: é tridimensional, é

compatível com os sistemas geodésicos internacionais e pode suportar as modernas técnicas e tecnologias de levantamento. Neste sentido foi criado em 1993 o projeto SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul e atualmente para as Américas, com os objetivos de: definir um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul, estabelecer e manter uma rede de referência e definir e estabelecer um datum geocêntrico. Sua realização inicial é composta por 58 estações distribuídas pelo continente sul-americano e cujas coordenadas foram determinadas por GPS no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995. Posteriormente, no período de 10 a 19 de maio de 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000, nesta campanha foram reocupadas as estações da campanha de 1995, ocupadas estações próximas aos marégrafos que definem o referencial altimétrico em cada país e estações altimétricas próximas às fronteiras entre os países. Foram ocupadas 184 estações durante a campanha de 2000 abrangendo a América do Sul, a América Central, a América do Norte e a região do Caribe.

Tanto a evolução do SGB quanto uma possível mudança do sistema de referência no Brasil afetam a produtores e usuários de Cartografia e Geodésia. No caso da adoção do SIRGAS como sistema de referência oficial no Brasil, o processo de transição entre os diferentes referenciais deve ser realizado de maneira consistente e controlada, procurando antever os problemas decorrentes desta alteração e indicar possíveis soluções para os mesmos. A coordenação geral do processo de transição é responsabilidade do IBGE, porém foram criados oito Grupos de Trabalho (GT) cuja atribuição é desenvolver estudos e pesquisas relacionados a um tema específico (IBGE, 2001c):

- a) GT 1 – Suporte e Atendimento ao Usuário: tem por objetivo realizar as atividades de suporte aos usuários, para isso deverá verificar a situação atual do país, ter representação estadual, ter entendimento dos problemas dos usuários e propor recomendações de curto, médio e longo prazo;
- b) GT 2 – Definição do Sistema de Referência Geodésico: tem por objetivo

- estudar qual o sistema a ser adotado, constantes geométricas, físicas e demais parâmetros;
- c) GT 3 – Conversão de Referenciais: tem por objetivo a determinação de parâmetros de conversão, desenvolver aplicativos, etc;
  - d) GT 4 – Definição de Modelo Geoidal: tem por objetivo determinar o modelo geoidal adequado ao novo referencial;
  - e) GT 5 – Conversão da Cartografia: tem como objetivo estudar os problemas inerentes à conversão da Cartografia Topográfica Sistemática e os inerentes à Cartografia Cadastral (escalas de 1:10 000 a 1:500);
  - f) GT 6 – Normalização e Legislação: tem por objetivo elaborar a parte legislativa e normativa;
  - g) GT 7 – Impactos da Mudança do Referencial: tem por objetivo avaliar os impactos da mudança nas áreas de: documentação legal e tributária, Geodésia, Cartografia, SIG e Informações Espaciais;
  - h) GT 8 – Divulgação: tem como objetivo a divulgação de todo o processo, através da editoração e divulgação de manuais, glossários, folder, participar e realizar eventos, etc.

Conforme divulgado na Mesa Redonda – Aspectos da Transição SAD 69 – SIRGAS, realizada no dia 23 de maio de 2001 no Centro Politécnico da UFPR, por ocasião do II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, além dos grupos de trabalho citados acima foi criado o Grupo de Trabalho GT 9. O principal objetivo do GT 9 é a organização dos arquivos de dados que serão utilizados pelos diferentes GT's na execução de suas tarefas específicas.

## 1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista os aspectos abordados anteriormente, pretende-se com este trabalho apresentar a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e algumas das implicações desta evolução. Pretende-se ainda, apresentar alguns dos aspectos



relacionados à adoção de um referencial geocêntrico (no caso o SIRGAS) no país. Além disso, é necessário alertar a comunidade usuária quanto ao uso de sistemas de coordenadas inadequados, pois cada usuário possui um nível diferente de conhecimento com respeito as diferentes características e realizações do Sistema Geodésico Brasileiro.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os dados e produtos georeferenciados gerados através de levantamentos geodésicos, topográficos, aerofotogramétricos e por Sensoriamento Remoto, que têm como base as coordenadas do SGB servem como fonte de informação para uma série de aplicações na engenharia, agricultura, meio ambiente e planejamento, como por exemplo: mapeamento sistemático, elaboração de um sistema de informações geográficas, elaboração de um plano diretor, elaboração de projetos civis e arquitetônicos, locação de obras, base para cobrança de impostos (IPTU), entre outras. Com o uso crescente dos SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) e de sistemas auxiliados por computador, estes dados são também utilizados por usuários de diversas outras áreas.

Os levantamentos de maneira geral são realizados por uma série de instituições, órgãos e profissionais da área. Atualmente, estão sendo realizados com base em diferentes pontos do SGB com diferentes características e realizações, tais como:

- a) sistema Córrego Alegre.
- b) realização inicial do SAD 69 composta de:
  - b.1) rede clássica de triangulação e poligonação (precisão de 10 a 20 ppm);
  - b.2) redes estaduais GPS de alta precisão (precisão relativa de 1 a 3 ppm);
- c) nova realização do SAD 69 (1996), composta de:
  - c.1) rede clássica de triangulação e poligonação (precisão de 10 a 20 ppm);
  - c.2) redes estaduais GPS de alta precisão (precisão relativa de 1 a 3 ppm);

além da tendência atual de adoção do SIRGAS (FREITAS; DALAZOANA, 2000, não paginado).

A adoção de um Sistema Geodésico de Referência Geocêntrico, como o SIRGAS, torna necessária a realização de estudos mais aprofundados. Estes estudos visam averiguar quais as implicações que a adoção deste novo referencial ocasionará tanto nos dados quanto nos mapas já gerados, uma vez que existe a necessidade técnica e econômica de se integrar a documentação cartográfica já existente com a nova realidade produzida pela adoção do SIRGAS.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 2 apresenta uma revisão conceitual sobre Sistema Geodésico de Referência, sua definição e materialização através das Redes Geodésicas Vertical, Horizontal e Tridimensional. Apresenta a evolução do SGB com: Sistema com Datum Córrego Alegre, SAD 69 e a materialização SAD 69 do ano de 1996; além da tendência de adoção do Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS). São apresentados os parâmetros e as equações de transformação oficiais entre diferentes sistemas geodésicos.

O capítulo 3 aborda a questão da Cartografia Sistemática Brasileira, os aspectos conceituais tais como a nomenclatura, articulação das folhas e o sistema de projeção utilizado. Apresenta a cobertura das diferentes escalas do mapeamento sistemático no território nacional. Apresenta ainda a situação da conversão dos mapas analógicos para o meio digital que está sendo realizada pela DSG e pelo IBGE.

O capítulo 4 apresenta a proposta feita pelo IBGE para que seja realizada uma translação de *grid* visando adequar os mapas já existentes ao SIRGAS. Neste capítulo, também são abordadas algumas das implicações advindas da evolução do SGB, como a qualidade dos parâmetros de transformação oficiais entre Córrego Alegre e SAD 69. Apresenta alguns testes visando a determinação de parâmetros regionais entre Córrego Alegre e SAD 69 para alguns estados brasileiros e

comparações entre as duas realizações do SAD 69. Também são abordados e discutidos alguns aspectos referentes a adoção do SIRGAS.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, bem como recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E SUA EVOLUÇÃO NO BRASIL**

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR), do ponto de vista prático, permite que se faça a localização espacial de qualquer feição sobre a superfície terrestre. O SGR é definido a partir da adoção de um elipsóide de referência, posicionado e orientado em relação à superfície terrestre. A evolução tecnológica propiciou o melhoramento dos diversos SGRs existentes, tanto no aspecto de definição quanto no de realização do sistema (a definição do SGR caracteriza-se por um conjunto de convenções junto a um elipsóide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado, já por realização entende-se um conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra com coordenadas conhecidas). Sob este ponto de vista, tanto as instituições e empresas voltadas à produção cartográfica quanto os usuários de dados georeferenciados utilizam informações baseadas nos diferentes sistemas de referência e suas realizações que coexistem no Brasil. Logo, é de extrema importância o conhecimento das características e restrições de cada um destes sistemas.

### **2.1 TAMANHO E FORMA DA TERRA**

A tarefa da Geodésia consiste na determinação do tamanho e da forma da Terra, bem como dos parâmetros definidores do campo da gravidade. Pode-se acrescentar também “as variações temporais” dos elementos citados (GEMAEL, 1999, p. 16). Quando se trata da figura da Terra, esta normalmente é considerada como sendo um corpo rígido e as perturbações temporais do tamanho e forma são tratadas separadamente (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 97).

A irregularidade da superfície terrestre traz muitas dificuldades na realização de cálculos matemáticos sobre tal superfície. Para fins práticos torna-se necessário encontrar um modelo representativo da superfície física da Terra (SMITH, 1996,

p.27). Existem diferentes tipos de modelos usados na Geodésia para representar física e matematicamente a superfície terrestre. Um modelo com significado físico é o geóide, cuja superfície é a equipotencial “que mais se aproxima do nível médio dos mares” (GEMAEL, 1999, p. 87). A adoção do geóide como superfície matemática de referência esbarra no conhecimento limitado do campo da gravidade terrestre. Além disso, o equacionamento matemático do geóide é complexo, o que o distancia de um uso mais prático como referência geométrica. Logo, não é conveniente para servir como superfície de referência para as chamadas redes geodésicas horizontais (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 106).

Um modelo matematicamente viável, do ponto de vista geométrico, é o elipsóide de revolução ou biaxial, que fica definido por apenas dois parâmetros, usualmente o semi-eixo maior  $a$  e o achatamento  $f$  dado por (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 110):

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1)$$

com  $b$  sendo o semi-eixo menor do elipsóide de revolução. O elipsóide também pode ser definido pelo semi-eixo maior ( $a$ ) e semi-eixo menor ( $b$ ) ou ainda pelo semi-eixo maior ( $a$ ) e a excentricidade ( $e$ ). O problema de encontrar o elipsóide com melhor ajuste à Terra envolveu cientistas por séculos na pesquisa de parâmetros cada vez mais refinados. Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros de alguns elipsóides biaxiais.

TABELA 1 - ELIPSÓIDES BIAXIAIS

ANO	NOME	$a$ (m)	$b$ (m)	$f'$
1830	Airy	6 377 563	6 356 257	299,325
1830	Everest	6 377 276	6 356 075	300,802
1841	Bessel	6 377 397	6 356 079	299,153
1858	Clarke	6 378 294	6 356 618	294,261
1866	Clarke	6 378 206	6 356 584	294,978
1880	Clarke	6 378 249	6 356 515	293,466
1907	Helmert	6 378 200	6 356 818	298,300
1909	Hayford	6 378 388	6 356 912	297,000
1927	NAD 27	6 378 206,4		294,9786982
1948	Krassovsky	6 378 245	6 356 863	298,300
1960	Fischer	6 378 155	6 356 773	298,3
1966	WGS 66	6 378 145	6 356 760	298,25
1967	IUGG	6 378 160	6 356 775	298,247
1972	WGS 72	6 378 135	6 356 751	298,26
1980	Internacional	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101
1983	NAD 83	6 378 137,0		298,257222101
1984	WGS 84	6 378 137		298,257223563

FONTE: adaptado de SMITH, 1996, p. 31

A evolução da Geodésia Espacial proporcionou uma evolução no estabelecimento dos modelos representativos da Terra, possibilitando uma associação entre os parâmetros geométricos e os parâmetros físicos do campo gravitacional terrestre. Uma solução está no modelo chamado de Terra Normal, que é um elipsóide de revolução ao qual se atribui a mesma massa da Terra incluindo a massa da atmosfera, a mesma velocidade de rotação da Terra real, além de sua superfície ser equipotencial (GEMAEL, 1999, p. 77). Logo, os elipsóides de revolução baseados em observações de satélites são definidos por parâmetros geométricos e por parâmetros físicos, como o semi-eixo maior ( $a$ ), constante gravitacional geocêntrica ( $GM$ ), velocidade angular ( $\omega$ ) e fator dinâmico de forma ( $J_2$ ) o qual pode ser convertido no achatamento do elipsóide (SNYDER, 1987, p. 11).

### 2.1.1 Posição e Orientação do Elipsóide de Referência

A posição e a orientação do elipsóide adotado como o de referência pode ser com relação à Terra como um todo, geralmente estes elipsóides são geocêntricos, ou seja, o seu centro geométrico é definido como coincidente com o centro de massa da

Terra para uma dada época. Existe, entretanto, uma outra família de elipsóides cujo propósito não é representar a Terra como um todo e sim se ajustar a uma certa região, como por exemplo, a um país, grupo de países ou continente. Devido a isto o elipsóide não é geocêntrico. Neste caso, o posicionamento e a orientação são feitos através de seis parâmetros topocêntricos: as coordenadas de um ponto origem, orientação (azimute inicial), separação geóide-elipsóide (ondulação geoidal), e as componentes do desvio da vertical (componente meridiana  $\xi$  e componente primeiro vertical  $\eta$ ) (COSTA, S.M.A, 1999, p. 17).

No Sistema Córrego Alegre a orientação do elipsóide deu-se de maneira totalmente arbitrária, ou seja, estabelecendo-se valores nulos para a ondulação geoidal e para as componentes do desvio da vertical no Datum, pois na época era a única forma de realização possível na prática. As coordenadas do vértice Córrego Alegre foram determinadas astronomicamente e estas coordenadas astronômicas foram transformadas em coordenadas geodésicas através das seguintes equações (GEMAEL, 1999, p.19):

$$\xi = \phi_A - \phi \quad (2)$$

$$\eta = (\lambda_A - \lambda) \cos \phi \quad (3)$$

$$\eta = (A_A - A) \cot g(\phi) \quad (4)$$

Onde:

$\phi_A, \lambda_A, A_A$ : são latitude, longitude e azimute astronômicos.

$\phi, \lambda, A$ : são latitude, longitude e azimute geodésicos.

Das equações (3) e (4) obtém-se a expressão:

$$A = A_A - (\lambda_A - \lambda) \tan \phi \quad (5)$$

conhecida como equação de Laplace e através da qual é possível transformar um

azimute astronômico em geodésico.

Com a imposição do valor nulo para as componentes do desvio da vertical no Datum, as coordenadas geodésicas deste vértice ficaram iguais às suas coordenadas astronômicas. Devido à orientação arbitrária, existia uma boa adaptação elipsóide-geóide na região de Minas Gerais e São Paulo, porém à medida que se caminhava para o Norte ou para o Sul, distanciando-se da origem, as discrepâncias ficavam bastante evidenciadas.

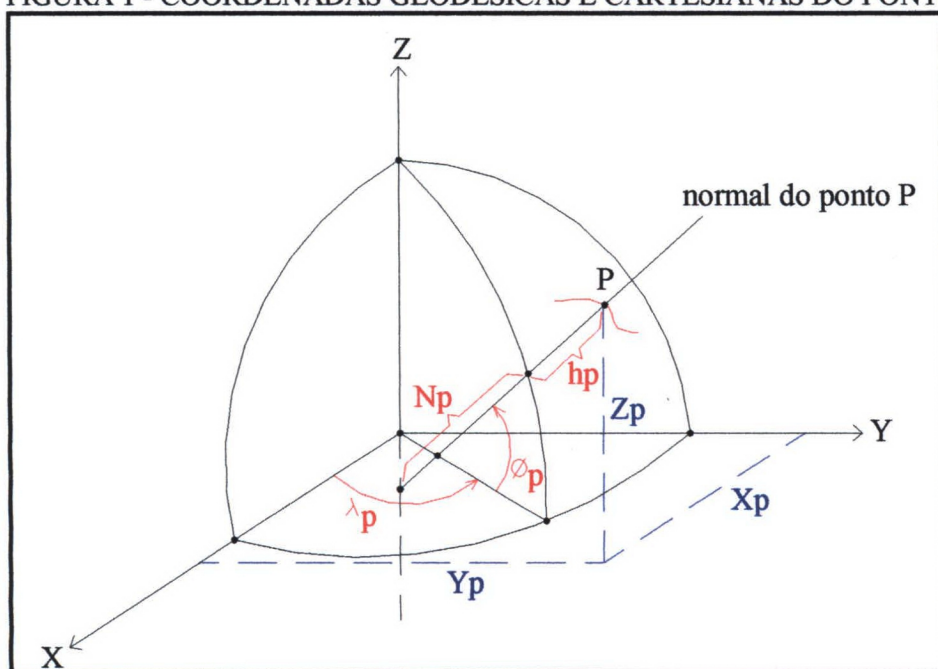
No SAD 69 a orientação do elipsóide deu-se de forma parcialmente arbitrária, determinando-se os valores das componentes do desvio da vertical e estabelecendo-se valor nulo para a ondulação geoidal no Datum (vértice Chuá). Através de uma determinação astronômica em Chuá e conhecendo-se os valores das componentes  $\xi$  e  $\eta$  foi possível calcular as coordenadas geodésicas do vértice por meio das equações (2) e (3), apresentadas anteriormente. Neste caso procurou-se posicionar e orientar o elipsóide de forma a obter uma boa adaptação entre a superfície do elipsóide e o geóide na América do Sul e, principalmente, de forma a obter um melhor ajustamento entre as altitudes elipsóidicas e ortométricas nas bordas oceânicas.

### 2.1.2 Coordenadas Geodésicas de um Ponto

O elipsóide devidamente ajustado às dimensões da Terra e orientado torna-se um referencial adequado para a atribuição de coordenadas a pontos sobre a superfície física da Terra. As coordenadas de um ponto P, referidas ao elipsóide, são ditas coordenadas geodésicas: latitude ( $\phi_P$ ), longitude ( $\lambda_P$ ) e altitude geométrica ou elipsoidal ( $h_P$ ). Porém, um terno cartesiano pode ser associado ao elipsóide, como mostra a Figura 1, logo o ponto P também pode ser definido por suas coordenadas cartesianas  $X_P$ ,  $Y_P$  e  $Z_P$ .



FIGURA 1 - COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS DO PONTO P



A transformação, das coordenadas geodésicas para coordenadas cartesianas, é imediata e dada pela seguinte formulação (IBGE, 1998, p. 18):

$$X_p = (N_p + h_p) \cos \phi_p \cos \lambda_p \quad (6)$$

$$Y_p = (N_p + h_p) \cos \phi_p \sin \lambda_p \quad (7)$$

$$Z_p = [N_p (1 - e^2) + h_p] \sin \phi_p \quad (8)$$

$$N_p = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_p)^{1/2}} \quad (9)$$

$$e^2 = 2f - f^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (10)$$

Onde:

$X_p$ ,  $Y_p$  e  $Z_p$  = coordenadas cartesianas do ponto P;

$\phi_p$  e  $\lambda_p$  = coordenadas geodésicas do ponto P;

$h_p$  = altitude geométrica ou elipsoidal do ponto P;

$N_P$  = raio de curvatura da seção 1º vertical no ponto P (ou grande normal);

$a$  = semi-eixo maior do elipsóide de referência;

$b$  = semi-eixo menor do elipsóide de referência;

$f$  = achatamento do elipsóide de referência;

$e^2$  = quadrado da 1ª excentricidade do elipsóide de referência.

A transformação inversa, de coordenadas cartesianas para coordenadas geodésicas, pode ser solucionada iterativamente ou diretamente. As fórmulas que propiciam a solução iterativa são dadas por (MONICO, 2000, p. 89):

$$p = \sqrt{X_P^2 + Y_P^2} \quad (11)$$

$$h_P = \frac{p}{\cos \phi_P} - N_P \quad (12)$$

$$\phi_P = \arctan \left\{ \left( \frac{Z_P}{p} \right) \left( 1 - e^2 \frac{N_P}{N_P + h_P} \right)^{-1} \right\} \quad (13)$$

$$\lambda_P = \arctan \left( \frac{Y_P}{X_P} \right) \quad (14)$$

O cálculo da longitude é feito diretamente através da fórmula (14), mas a altitude geométrica e a latitude são calculadas através de iterações. A solução dá-se através das seguintes etapas:

a) cálculo de  $p$  através da fórmula (11):

$$p = \sqrt{X_P^2 + Y_P^2}$$

b) cálculo de um valor aproximado para a latitude ( $\phi_0$ ):

$$\phi_0 = \arctan \left\{ \left( \frac{Z_P}{p} \right) (1 - e^2)^{-1} \right\}$$

c) cálculo de um valor aproximado para a grande normal ( $N_0$ ):

$$N_0 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{1/2}}$$

d) cálculo da altitude geométrica ( $h$ ):

$$h = \frac{P}{\cos \phi_0} - N_0$$

e) cálculo de um valor melhorado para a latitude:

$$\phi_p = \arctan \left\{ \left( \frac{Z_p}{p} \right) \left( 1 - e^2 \frac{N_0}{N_0 + h} \right)^{-1} \right\}$$

f) verificar se existe necessidade de outra iteração, através da comparação entre os valores aproximado e melhorado da latitude.

A solução direta é dada pela seguinte formulação (MONICO, 2000, p. 90):

$$\phi_p = \arctan \left( \frac{Z_p + e'^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta} \right) \quad (15)$$

$$\lambda_p = \arctan \left( \frac{Y_p}{X_p} \right) \quad (16)$$

$$h_p = \frac{P}{\cos \phi_p} - N_p \quad (17)$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{Z_p a}{p b} \right) \quad (18)$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (19)$$

Onde:

$e'^2$  = quadrado da 2ª excentricidade do elipsóide de referência

## 2.2 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E REDES GEODÉSICAS

A definição de um sistema de referência é caracterizada pela idéia conceitual desse sistema (MONICO, 2000, p. 59). Um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é definido com base num conjunto de parâmetros e convenções, junto a um elipsóide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado, constituindo um referencial adequado para a atribuição de coordenadas a pontos sobre a superfície física.

Quando um referencial é definido e adotado por convenção, a etapa seguinte é caracterizada pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre (rede), devidamente materializados. Fazem parte, ainda, o processamento e análise, bem como a divulgação dos resultados, que é, essencialmente, um conjunto de coordenadas associado a uma época em particular. As coordenadas podem vir acompanhadas de suas respectivas velocidades. Esse conjunto materializa o sistema de referência. (MONICO, 2000, p. 60).

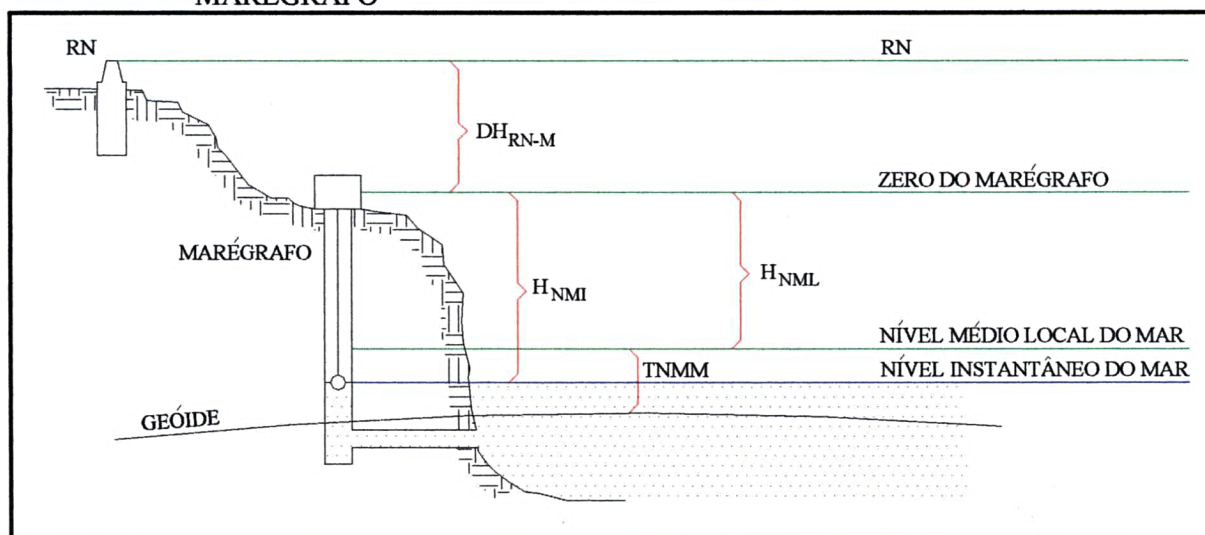
Pode-se dizer então, que a materialização ou realização do Sistema Geodésico de Referência dá-se através do conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra cujas coordenadas são conhecidas. A realização do sistema de referência é disponibilizada ao usuário através da divulgação do conjunto de coordenadas.

O conjunto de estações terrestres cujas posições foram determinadas com respeito a um sistema coordenado constitui as chamadas malhas ou redes geodésicas, que proporcionam uma forma de representação pontual da superfície física do planeta. Didaticamente as redes são divididas em três categorias: redes verticais, redes horizontais e redes tridimensionais (CASTAÑEDA, 1986, p. 24). As redes de pontos definidos por apenas uma coordenada, a altitude, são conhecidas como redes geodésicas verticais e as redes de pontos cujas posições horizontais são conhecidas, por exemplo, a latitude e a longitude, são chamadas de redes geodésicas horizontais. A razão para a separação em redes verticais e horizontais vem da necessidade do controle horizontal estar definido num sistema geométrico e do controle vertical estar de

alguma forma referido ao campo da gravidade da Terra (TORGE, 1991, p. 213). Finalmente, redes de pontos com três coordenadas são conhecidas como redes tridimensionais.

As redes geodésicas verticais são compostas por pontos implantados na superfície física da Terra. Cada ponto é conhecido por RN (Referência de Nível) e sua altitude ortométrica ( $H$ ) é conhecida e determinada por técnicas de nivelamento. No estabelecimento das redes verticais existe maior preocupação com a precisão das altitudes do que com a precisão das coordenadas horizontais. Essas altitudes estão referenciadas ao geóide ou mais popularmente ao “Nível Médio dos Mares” (NMM). O NMM é determinado através de observações do nível do mar utilizando instrumentos conhecidos como marégrafos. Simplificadamente, a variação do nível do mar instantâneo (local) ( $H_{\text{NMI}}$ ) com respeito ao zero do marégrafo é monitorada. Com os dados obtidos do monitoramento, calcula-se o nível médio do mar local ( $H_{\text{NML}}$ ) e determina-se a altitude de uma RN situada próxima ao marégrafo ( $H_{\text{NML}} + DH_{\text{RN-M}}$ ) como mostra a Figura 2 (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 424):

FIGURA 2 - DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE DE UMA RN SITUADA PRÓXIMA AO MARÉGRAFO



FONTE: adaptado de VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 424

As altitudes dos outros pontos da rede geodésica vertical são determinadas a

partir dos desníveis obtidos com nivelamento geométrico e referidas à RN situada próxima ao marégrafo. Porém, uma consideração a ser feita é a de que o NMM é definido em uma estação maregráfica (que constitui o Datum da rede vertical) após um certo número de anos de observações, valendo para aquele local e para uma dada época, pois o NMM varia de um ponto para outro e no mesmo ponto em função do tempo (GEMAEL, 1999, p. 211). No Brasil, o NMM é definido pelas observações maregráficas tomadas no porto de Imbituba, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já foi amplamente aceito, porém atualmente é reconhecido que o NMM local observado nos marégrafos não pode ser considerado coincidente com o geóide global (PAN; SJÖBERG, 1998, p. 64). Ou seja, cada datum vertical é referido a uma superfície equipotencial particular, superfície esta, associada ao NMM num ponto costeiro (no marégrafo). Geralmente esta superfície possui uma discrepância com relação ao geóide global. Esta discrepância é chamada de Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM).

As redes geodésicas horizontais são compostas por pontos cujas coordenadas (geralmente latitude  $\phi$  e longitude  $\lambda$ ), com respeito a uma superfície de referência (o elipsóide), são conhecidas. As altitudes dos pontos das redes horizontais são determinadas com uma precisão relativa inferior a das coordenadas horizontais, por exemplo, através de nivelamento trigonométrico. Tais altitudes têm a função de propiciar elementos para redução das bases (medidas sobre a superfície física da Terra) ao elipsóide. O Datum da rede geodésica horizontal consiste num ponto (origem) cujas coordenadas são conhecidas.

Até a década de 60, as coordenadas horizontais dos pontos eram basicamente determinadas pelas técnicas de triangulação, trilateração e poligonação. A partir daí, surgiram os métodos de posicionamento por satélite, que proporcionaram a obtenção direta de coordenadas tridimensionais (TORGE, 1991, p. 213). As redes tridimensionais podem ser estabelecidas de duas formas (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 100):

- a) combinar as coordenadas horizontais ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) e a altitude ortométrica ( $H$ ) de pontos homólogos para obter então as coordenadas tridimensionais ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) ou ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Para obter a coordenada  $h$ , chamada de altitude elipsoidal ou geométrica, é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal ( $\Delta N$ ):

$$h \cong \Delta N + H \quad (20)$$

- b) utilizar técnicas de posicionamento que sejam capazes de fornecer diretamente as três coordenadas em algum referencial, como por exemplo o VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR (*Satellite Laser Range*) e o GPS (*Global Positioning System*).

É clássica a divisão das redes geodésicas em redes verticais, horizontais e tridimensionais. Porém, deve-se ter em mente que com a evolução das técnicas de posicionamento, principalmente as técnicas espaciais, e com o aumento na precisão da determinação das coordenadas, existem na atualidade os conceitos de rede de referência fundamental e de redes derivadas ou a serem integradas. O objetivo da integração é combinar duas soluções da melhor maneira possível. Atualmente novos levantamentos podem ser integrados a levantamentos já existentes de três formas:

- a) as coordenadas de novos levantamentos são determinadas a partir de um ajustamento onde são injuncionadas as coordenadas das estações existentes;
- b) baseando-se em observações GPS através da técnica de posicionamento absoluto ou relativo. Neste caso os satélites fazem o papel de pontos de controle existentes. No posicionamento absoluto, quando os dados são processados com as efemérides transmitidas o resultado é referido ao WGS84 (*World Geodetic System 1984*), porém se os dados forem processados com as efemérides precisas, o resultado é referido ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). No posicionamento relativo, quando os dados são processados com as efemérides transmitidas e a

estação de referência possui coordenadas conhecidas em WGS84 o resultado é referido ao WGS84, porém se os dados forem processados com as efemérides precisas e a estação de referência possui coordenadas ITRF conhecidas, o resultado é referido ao ITRF;

c) aplicando-se parâmetros de transformação (COSTA, S.M.A, 1999, p. 43).

## 2.3 O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) foi iniciado na década de 40. O SGB caracteriza-se pelo conjunto de estações que representam o controle horizontal e vertical necessários à localização e representação cartográfica no território brasileiro, seu estabelecimento e manutenção são atribuições do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) através de seu Departamento de Geodésia (IBGE, 2000, p. 5). A materialização do Sistema Geodésico Brasileiro dá-se através das Redes Geodésicas Brasileiras (RGB): Rede Horizontal, Rede Vertical e Rede Tridimensional (Rede Nacional GPS, Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC), que são formadas pelos conjuntos de estações e coordenadas geodésicas.

### 2.3.1 Sistema com Datum Córrego Alegre

O Sistema com Datum Córrego Alegre, oficialmente adotado pelo Brasil da década de 50 até a década de 70, foi definido a partir de um ajustamento, pelo método dos correlatos ou equações de condição, da Rede Horizontal do SGB. Na definição deste sistema adotou-se como superfície de referência o Elipsóide Internacional de Hayford de 1924, com semi-eixo maior  $a = 6\,378\,388$  m e achatamento  $f = 1/297$  (IBGE, 1996, p. 4). Como ponto origem foi escolhido o vértice Córrego Alegre, no qual o posicionamento e a orientação do elipsóide de referência foram feitos astronomicamente. Neste vértice adotaram-se valores nulos para as componentes do



desvio da vertical e para a ondulação geoidal, com isso aplicando-se as equações (2) e (3) apresentadas no item 2.1 verifica-se que as coordenadas geodésicas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) do ponto ficam iguais às suas coordenadas astronômicas ( $\phi_A$ ,  $\lambda_A$ ):

Latitude  $\phi = \phi_A = 19^\circ 50' 14,91''$  S e

Longitude  $\lambda = \lambda_A = 48^\circ 57' 41,98''$  W,

a altitude ortométrica do vértice Córrego Alegre é 683,81 m (IBGE, 1996, p. 4).

O sistema Córrego Alegre é de grande importância, pois ainda existe no país um grande número de documentos cartográficos e coordenadas referidas a ele. A Tabela 2 mostra o quantitativo das cartas do mapeamento sistemático produzidas neste sistema (IBGE, 2000, p. 24):

TABELA 2 - QUANTITATIVO DE CARTAS EM CÓRREGO ALEGRE

ESCALA DA CARTA	QUANTIDADE
1 : 1 000 000	46
1 : 250 000	320
1 : 100 000	1115
1 : 50 000	1262
1 : 25 000	148
Total	2891

FONTE: IBGE, 2000, p. 24

Apesar do Sistema Córrego Alegre não ser mais o sistema de referência oficial no Brasil, estas cartas vem sendo atualizadas e novos produtos vêm sendo gerados com base neste sistema. Além disso, o apoio terrestre e sua densificação, utilizados para a geração das cartas indicadas na Tabela 2, também são utilizados para a geração de produtos em escalas maiores. A realização do Sistema Córrego Alegre de precisão compatível com as técnicas e equipamentos da época, aliada à menor precisão da densificação do apoio terrestre, faz com que os produtos gerados com base neste sistema, principalmente os em escalas grandes, percam em qualidade quando comparados aos produtos gerados com base em sistemas de referência e tecnologias mais atuais.

Salienta-se que historicamente existiu um sistema de referência provisório

entre Córrego Alegre e SAD 69, que foi o Astro Datum Chuá e que algumas cartas foram editadas neste sistema. Na época foram estabelecidas estações gravimétricas na região do vértice Córrego Alegre objetivando o melhor conhecimento do geóide na região e a adoção de um novo ponto origem. Como resultado destas pesquisas foi escolhido um novo Datum, o vértice Chuá, e através de um novo ajustamento foi definido o novo sistema de referência, denominado de Astro Datum Chuá. Este sistema tinha como ponto origem o vértice Chuá, como elipsóide de referência o de Hayford e foi estabelecido com o propósito de ser um ensaio ou referência para a definição do SAD 69 (IBGE, 2001d).

A resolução PR número 22, de 21 de julho de 1983, traz os parâmetros de transformação entre os sistemas Córrego Alegre e SAD 69. Estes parâmetros consistem em três translações, que do Sistema Córrego Alegre para o SAD 69 são:

Translação em  $X$  ( $\Delta X$ ) = -138,70 m

Translação em  $Y$  ( $\Delta Y$ ) = 164,40 m

Translação em  $Z$  ( $\Delta Z$ ) = 34,40 m

Esta mesma resolução traz como modelo matemático, para a transformação de coordenadas entre sistemas geodésicos de referência, as equações diferenciais simplificadas de Molodensky:

$$\Delta\phi^0 = \frac{1}{M_1} \{ (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \sin 2\phi_1 - \Delta X \sin \phi_1 \cos \lambda_1 - \Delta Y \sin \phi_1 \sin \lambda_1 + \Delta Z \cos \phi_1 \} \frac{180}{\pi} \quad (21)$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \cos \phi_1} \{ -\Delta X \sin \lambda_1 + \Delta Y \cos \lambda_1 \} \frac{180}{\pi} \quad (22)$$

$$\Delta N = (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \sin^2 \phi_1 - \Delta a + \Delta X \cos \phi_1 \cos \lambda_1 + \Delta Y \cos \phi_1 \sin \lambda_1 + \Delta Z \sin \phi_1 \quad (23)$$

$$\phi_2^0 = \phi_1^0 + \Delta\phi^0 \quad (24)$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0 \quad (25)$$

Onde:

$a_1$  = semi-eixo maior do elipsóide no sistema  $S_1$

$f_1$  = achatamento do elipsóide no sistema  $S_1$

$\phi_1$  = latitude geodésica no sistema  $S_1$

$\lambda_1$  = longitude geodésica no sistema  $S_1$

$a_2$  = semi-eixo maior do elipsóide no sistema  $S_2$

$f_2$  = achatamento do elipsóide no sistema  $S_2$

$\phi_2$  = latitude geodésica no sistema  $S_2$

$\lambda_2$  = longitude geodésica no sistema  $S_2$

$\Delta N$  = diferença de altitudes geométricas ( $S_2 - S_1$ )

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  = parâmetros de translação do  $S_1$  para o  $S_2$

$$N_1 = \frac{a_1}{(1 - e_1^2 \sin^2 \phi_1)^{1/2}} = \text{raio de curvatura da seção } 1^\circ \text{ vertical no } S_1 \quad (26)$$

$$M_1 = \frac{N_1}{1 + e_1'^2 \cos^2 \phi_1} = \frac{a_1(1 - e_1^2)}{(1 - e_1^2 \sin^2 \phi_1)^{3/2}} = \text{raio de curvatura da seção meridiana no } S_1 \quad (27)$$

$$\Delta a = a_2 - a_1 \quad (28)$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (29)$$

$$e_1^2 = f_1(2 - f_1) \quad (30)$$

$$e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2} \quad (31)$$

Onde:

$e'^2$  = quadrado da segunda excentricidade do elipsóide de referência

Na utilização das equações diferenciais simplificadas de Molodensky, os parâmetros para a transformação do Sistema Córrego Alegre para o Sistema SAD 69 são os seguintes:

$$a_1 = 6\,378\,388 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/297$$

$$a_2 = 6\,378\,160 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta X = -138,70 \text{ m}$$

$$\Delta Y = 164,40 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 34,40 \text{ m}$$

### 2.3.2 O Datum Sul Americano de 1969 (SAD 69)

A utilização do SAD 69 como sistema de referência único para a América do Sul, foi recomendada em 1969 devido à aprovação do relatório final do Grupo de Trabalho sobre o Datum Sul Americano, pelo Comitê de Geodésia reunido na XI Consultoria Pan-americana sobre Cartografia, em Washington, EUA (CASTAÑEDA, 1986, p. 68). O Projeto do Datum Sul Americano subdividiu-se em duas etapas (FISCHER, 1973, p. 6):

- a) estabelecimento de um sistema geodésico cujo elipsóide apresentasse boa adaptação regional ao geóide;
- b) ajustamento de uma rede planimétrica de âmbito continental referenciada ao sistema definido.

Atualmente a Rede Horizontal do SGB é composta por mais de 5.000 estações cujas coordenadas geodésicas estão referidas ao SAD 69, que foi oficialmente adotado no Brasil no final da década de 70 (IBGE, 2000, p. 5). Na definição do sistema adotou-se como modelo geométrico da Terra o Elipsóide de Referência Internacional de 1967, recomendado pela Associação Internacional de Geodésia (*International Association of Geodesy* - IAG), definido pelos parâmetros (IBGE, 1998,

p. 3):

- a) semi-eixo maior  $a = 6\,378\,160,000$  m;
- b) com o achatamento  $(1/298,247167427)$  aproximado para o valor  $f = 1/298,25$ .

A definição da origem e a orientação do elipsóide de referência foram feitas de forma a minimizar as diferenças em relação ao geóide no continente sul-americano (IBGE, 2000, p. 5). Como ponto origem adotou-se o vértice de triangulação Chuá, cujas coordenadas astronômicas e geodésicas são apresentadas na Tabela 3:

TABELA 3 - COORDENADAS DO VÉRTICE CHUÁ

	ASTRONÔMICA	GEODÉSICA
Latitude	$19^{\circ} 45' 41,34'' \text{ S} \pm 0,05''$	$19^{\circ} 45' 41,6527'' \text{ S}$
Longitude	$48^{\circ} 06' 07,80'' \text{ W} \pm 0,08''$	$48^{\circ} 06' 04,0639'' \text{ W}$
Azimute ao vértice Uberaba (contado a partir do ponto Sul)	$271^{\circ} 30' 05,42'' \pm 0,21''$	$271^{\circ} 30' 04,05''$
Altura geoidal	$N = 0 \text{ m}$	

FONTE: FISCHER, 1973, p. 6

No vértice Chuá foram determinadas as componentes do desvio da vertical e estabeleceu-se valor nulo para a ondulação geoidal. Os valores das componentes do desvio da vertical são (OLIVEIRA, 1998, p. 41):

- a) componente meridiana  $\xi = 0,31''$  ;
- b) componente primeiro vertical  $\eta = -3,52''$ .

As coordenadas do vértice foram determinadas astronomicamente e com o conhecimento dos valores das componentes do desvio da vertical foi possível calcular as coordenadas geodésicas de Chuá através da aplicação das equações (2) e (3), apresentadas no item 2.1.

O primeiro ajuste realizado em ambiente computacional, para o estabelecimento do SAD 69, foi feito pelo *Defense Mapping Agency* (DMA) através do sistema computacional *Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates* (HAVOC). A rede geodésica brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste, que foram

processadas em blocos separados em consequência das limitações computacionais da época (IBGE, 1996, p. 5). Numa segunda etapa, os dados de novos levantamentos geodésicos, provenientes da densificação da Rede Horizontal, foram ajustados no programa *Users System for Horizontal Evaluation and Reduction* (USHER). Neste caso eram consideradas fixas as coordenadas das estações já existentes (COSTA, S.M.A, 1999, p. 2). Este procedimento insere distorções nas coordenadas das estações uma vez que os erros sistemáticos são propagados através dos diversos ajustes. Basicamente, as distorções existentes na rede clássica ocorreram devido a três principais causas (IBGE, 1996, p. 6): fraca geometria das redes clássicas; ausência de um modelo geoidal preciso para a redução das observações geodésicas ao elipsóide; e métodos de ajustamento aplicados.

Na década de 70 iniciou-se no Brasil o uso dos sistemas de posicionamento por satélites através do sistema TRANSIT. Foram realizadas observações Doppler em estações da rede geodésica de alta precisão com a finalidade de estimar parâmetros de transformação entre o SAD 69 e o NSW 92Z (sistema associado às efemérides precisas do sistema TRANSIT) (CASTAÑEDA, 1986, p. 36). Posteriormente foram estabelecidas estações na região amazônica onde não era possível a prática dos procedimentos clássicos. De uma forma bem abrangente, a realização do SGB, até o início da década de 90, foi obtida pelos procedimentos clássicos de triangulação e poligonação, tendo como observações básicas: direções horizontais, ângulos verticais, distâncias e valores astronômicos – coordenadas e azimutes (OLIVEIRA, 1998, p. 44); além de pontos estabelecidos com o sistema TRANSIT. Finalmente, em 1991 o IBGE adotou o GPS em seus trabalhos geodésicos (COSTA, S.M.A, 1999, p. 2).

A partir de 1994, com uma efetiva aplicação do GPS, começaram a ser implantadas redes estaduais de alta precisão, vinculadas ao SAD 69, com precisões relativas das linhas de base entre 1 e 3 ppm (partes por milhão). Um exemplo é a Rede Geodésica GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná. Esta rede foi implantada através de um convênio de cooperação técnica entre o IBGE e o IAP (Instituto Ambiental do

Paraná) com os objetivos de: suprir as deficiências da Rede Geodésica Fundamental ou de Primeira Ordem; estabelecer uma rede de referência para posicionamento relativo com GPS e referenciar os trabalhos realizados no Paraná de maneira única e precisa. Um dos benefícios alcançados com a rede é o de proporcionar melhor atendimento aos diferentes usuários da Cartografia, da Geodésia e do Sensoriamento Remoto, nos mais variados setores de atividade, tanto do Serviço Público, como da iniciativa privada. Na área do Serviço Público, a rede passou a atender aos interesses e necessidades de uma série de instituições, como: SEMA, COPEL, SANEPAR, IBGE, INCRA e prefeituras municipais (PARANÁ, 1996, p. 2). A implantação da rede deu-se no período de fevereiro de 1994 a setembro de 1995 e é constituída por 20 estações implantadas de forma a garantir cobertura de todo o território paranaense. A distribuição dos vértices possibilita que qualquer região do Paraná conte com um vértice a uma distância inferior a 60 km de abrangência (PARANÁ, 1996, p. 3). Esta rede é extensivamente aplicada no Estado para a geração de produtos cartográficos, incluindo os cadastrais e em SIG (FREITAS; DALAZOANA, 2000, não paginado), vinculados principalmente à realização inicial do SAD 69.

Os 20 marcos da Rede GPS do Paraná foram implantados nas cidades de Curitiba, Ponta Grossa, Jaguariaíva, Joaquim Távora, Ortigueira, Londrina, Iretama, Maringá, Goioerê, Paranavaí, Querência do Norte, Guaíra, Toledo, Foz do Iguaçu, Francisco Beltrão, Laranjeiras do Sul, Clevelândia, Guarapuava, Bituruna e São Mateus do Sul. Para a determinação das coordenadas dos vértices foi empregado o posicionamento relativo. Como a rede encontrava-se sob a área de influência das estações Curitiba (UFPR) e Presidente Prudente (UEPP), ambas pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, estas duas foram utilizadas como estações de referência para a implantação da Rede GPS (PARANÁ, 1996, p.8). Visando otimizar os trabalhos, a rede foi subdividida em oito figuras básicas, cada uma constituída por cinco marcos, onde alguns lados são sobrepostos de modo a manter a ligação entre elas. As figuras ficaram assim dispostas (PARANÁ, 1996, p. 6):

Figura 1: Toledo, Foz do Iguaçu, Francisco Beltrão, Laranjeiras do Sul e Clevelândia;

Figura 2: Francisco Beltrão, Laranjeiras do Sul, Clevelândia, Guarapuava e Bituruna;

Figura 3: Guarapuava, Bituruna, Ponta Grossa, São Mateus do Sul e Curitiba;

Figura 4: Curitiba, Ponta Grossa, Jaguariaíva, Ortigueira e Joaquim Távora;

Figura 5: Ortigueira, Joaquim Távora, Londrina, Iretama e Maringá;

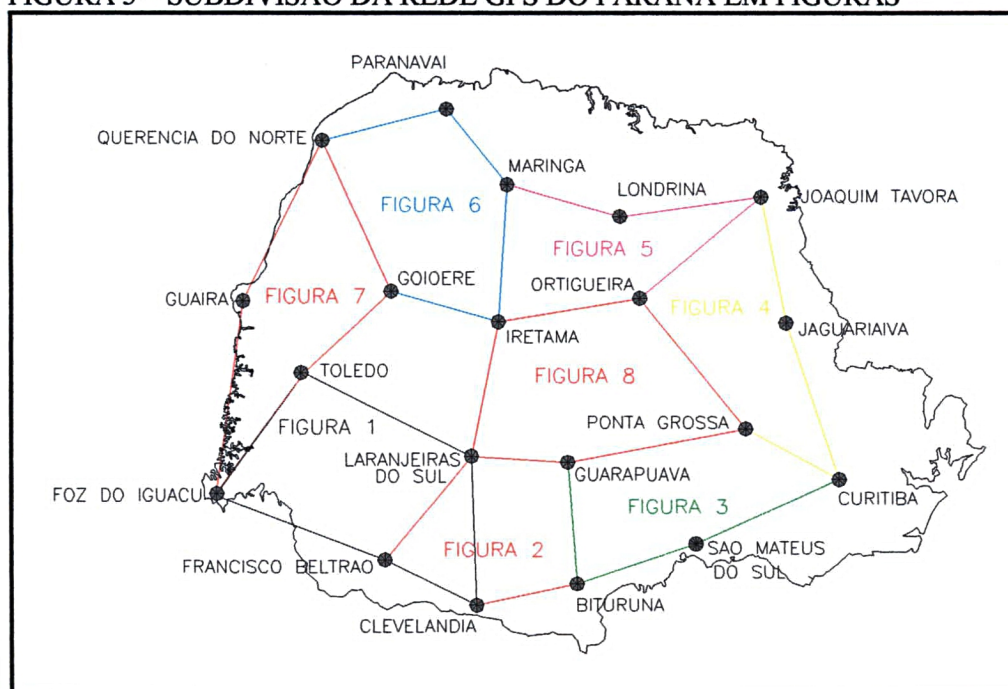
Figura 6: Iretama, Maringá, Goioerê, Paranavaí e Querência do Norte;

Figura 7: Goioerê, Querência do Norte, Guaíra, Toledo e Foz do Iguaçu;

Figura 8: Laranjeiras do Sul, Guarapuava, Ponta Grossa, Ortigueira e Iretama.

Os vetores de observação foram processados por figuras, utilizando-se a solução de dupla diferença de fase e empregando-se efemérides precisas do IGS (*International GPS Service*) (PARANÁ, 1996, p.11). A disposição das figuras nas quais a rede GPS do estado foi subdividida pode ser visualizada na Figura 3. Esta figura ilustra como o Paraná está apoiado pela rede.

FIGURA 3 – SUBDIVISÃO DA REDE GPS DO PARANÁ EM FIGURAS



Quando um ponto é rastreado com GPS, utilizando as efemérides transmitidas e injuncionando uma estação base cuja coordenada é conhecida em WGS



84 (*World Geodetic System 1984*) no caso de posicionamento relativo, este ponto tem também suas coordenadas referidas ao WGS 84, tornando necessária sua transformação para o sistema geodésico oficial do país, o SAD 69. A Resolução número 23, de 21 de fevereiro de 1989, que altera o Apêndice II da Resolução PR – 22/83, traz os parâmetros oficiais para a transformação de WGS 84 para SAD 69:

$$\text{Translação em } X (\Delta X) = 66,87 \text{ m} \pm 0,43 \text{ m}$$

$$\text{Translação em } Y (\Delta Y) = -4,37 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$$

$$\text{Translação em } Z (\Delta Z) = 38,52 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$$

Trata-se de três translações, pois se assume que os sistemas SAD 69 e WGS 84 são paralelos e que possuem a mesma escala. Salienta-se que não existem parâmetros de transformação entre o Sistema Córrego Alegre e o WGS 84, devendo ser feita uma transformação intermediária para SAD 69. Esta resolução traz ainda, uma sequência de cálculo para a transformação entre os sistemas WGS 84 e SAD 69:

$$X_1 = (N_1 + h_1) \cos \phi_1 \cos \lambda_1 \quad (32)$$

$$Y_1 = (N_1 + h_1) \cos \phi_1 \sin \lambda_1 \quad (33)$$

$$Z_1 = \left[ N_1 (1 - e_1^2) + h_1 \right] \sin \phi_1 \quad (34)$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X \quad (35)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y \quad (36)$$

$$Z_2 = Z_1 + \Delta Z \quad (37)$$

$$\phi_2 = \arctan \left( \frac{Z_2 + e_2'^2 b_2 \sin^3 u}{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2} - e_2^2 a_2 \cos^3 u} \right) \quad (38)$$

$$\lambda_2 = \arctan \left( \frac{Y_2}{X_2} \right) \text{ (para o quadrante em que se situa o Brasil)} \quad (39)$$

$$h_2 = \frac{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2}}{\cos \phi_2} - N_2 \quad (40)$$

Onde  $u$  é a latitude reduzida que pode ser expressa através das seguintes equações:

$$\operatorname{sen} u = \frac{\operatorname{tg} u}{(1 + \operatorname{tg}^2 u)^{1/2}} \quad (41)$$

$$\operatorname{cos} u = \frac{1}{(1 + \operatorname{tg}^2 u)^{1/2}} \quad (42)$$

$$\operatorname{tg} u = \frac{Z_2}{(X_2^2 + Y_2^2)^{1/2}} \frac{a_2}{b_2} \quad (43)$$

Sendo:

$X_1, Y_1, Z_1$  = coordenadas cartesianas no sistema  $S_1$

$X_2, Y_2, Z_2$  = coordenadas cartesianas no sistema  $S_2$

Na utilização das equações indicadas na Resolução número 23, os parâmetros para a transformação do Sistema WGS 84 para o Sistema SAD 69 são os seguintes:

$$a_1 = 6\,378\,137 \text{ m}$$

$$f_1 = 1/298,257223563$$

$$a_2 = 6\,378\,160 \text{ m}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

$$\Delta X = 66,87 \text{ m}$$

$$\Delta Y = -4,37 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 38,52 \text{ m}$$

Cabe ser ressaltado que estes parâmetros de transformação foram estimados com base na realização inicial de ambos os sistemas (SAD 69 e WGS 84) e utilizando somente a estação Chuá. Esta estação foi a única que não sofreu alteração em suas coordenadas com o reajustamento do SAD 69 realizado em 1996. Os parâmetros estão

limitados pela realização inicial do WGS 84 e também não sofreram alteração com o reajustamento do SAD 69 e nem devido à evolução do WGS 84, o qual já passou por dois refinamentos desde sua realização inicial.

O WGS 84 foi estabelecido em 1987 e sua realização inicial deu-se através de um conjunto de estações Doppler (NIMA, 1997, p.2-2). Esta realização fornecia precisão métrica devido à limitação da técnica utilizada, o Doppler. Posteriormente, foram realizados dois refinamentos no sistema objetivando melhorar a precisão da realização inicial. O primeiro refinamento recebeu a denominação WGS84 (G730), onde “G” indica o uso exclusivo da técnica GPS no refinamento e “730” se refere a semana GPS desta solução, foi utilizado nas órbitas dos satélites GPS a partir de 29 de junho de 1994. Deste primeiro refinamento participaram 32 estações, 10 estações do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e 22 estações da rede IGS, a precisão das coordenadas desta solução foi de 10 cm ( $1\sigma$ ) para as estações DoD. O segundo refinamento, correspondente a materialização utilizada até os dias de hoje, foi denominado de WGS84 (G873) e foi implementado em 29 de janeiro de 1997. Esta materialização foi baseada em observações GPS de 12 estações DoD. As coordenadas destas estações foram determinadas com uma precisão de 5 cm ( $1\sigma$ ) (NIMA, 1997, p.2-4).

Com relação à produção cartográfica, a Tabela 4 apresenta o quantitativo das cartas do mapeamento sistemático produzidas em SAD 69 (IBGE, 2000, p. 24):

TABELA 4 - QUANTITATIVO DE CARTAS EM SAD 69

ESCALA DA CARTA	QUANTIDADE
1 : 250 000	397
1 : 100 000	963
1 : 50 000	313
1 : 25 000	240
Total	1913

FONTE: IBGE, 2000, p. 24

Com o surgimento de técnicas de levantamento mais precisas, como o GPS que estabelece simultaneamente as três componentes que definem a posição de um ponto no espaço, verificou-se a necessidade de um novo ajustamento com caráter global e integrado às novas observações GPS. Desta forma procurou-se reduzir ao máximo as inconsistências encontradas na rede, uma vez que apesar da alta precisão as redes GPS são freqüentemente distorcidas quando integradas a uma rede originalmente estabelecida por técnicas convencionais (IBGE, 1996, p. 6).

### 2.3.3 A Nova Realização do SAD 69

O Projeto de Reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Brasileira (REPLAN) foi criado pelo IBGE em 1985 e teve seu término no segundo semestre de 1996 (OLIVEIRA, 1998, p. 47). Através deste projeto, em 1996 a Rede Horizontal foi ajustada simultaneamente, neste caso os parâmetros definidores do SAD 69 foram mantidos e todas as observações da rede foram utilizadas, como por exemplo: direções horizontais, bases geodésicas, azimutes astronômicos, observações Doppler e GPS. Neste reajustamento foi utilizado o sistema *Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial Data* (GHOST), cujo objetivo é desenvolver ajustamentos em redes continentais. O *software* GHOST foi anteriormente utilizado pelo Canadá no Projeto *North American Datum of 1983* (NAD 83) (COSTA, S.M.A, 1999, p. 48). O sistema GHOST caracteriza-se pela utilização de modelagem tridimensional para o ajuste por mínimos quadrados (método paramétrico) e o emprego da técnica de *Helmert Blocking* na decomposição de redes geodésicas (esta técnica subdivide grandes sistemas de equações em vários sistemas e, portanto em pequenas soluções) (IBGE, 1996, p. 28).

O resultado deste novo ajustamento, que teve o apoio de medidas GPS ponderadas de acordo com suas precisões, é uma nova materialização do SAD 69 no Brasil, com novos valores de coordenadas para as estações horizontais. Segundo o IBGE (1996, p. 42) com os resultados do ajustamento desenvolvido foi obtido pela

primeira vez um retrato consistente da qualidade da rede, a qual foi consideravelmente melhorada em função do tratamento global. Nesta nova materialização as coordenadas dos pontos diferem de até alguns metros daquelas originais no SAD 69. Segundo o IBGE (1996), estas diferenças devem ser interpretadas como reflexo das distorções existentes na rede. Não existem parâmetros de transformação oficiais entre as duas realizações do SAD 69. Porém é importante citar que estudos anteriores foram realizados visando a integração entre as duas materializações do SAD 69: por OLIVEIRA (1998) que apresenta uma análise onde, além de determinar parâmetros de transformação é feita uma modelagem das distorções usando uma transformação geométrica afim geral a 12 parâmetros combinada a uma Triangulação de *Delaunay*; e por COSTA, M.F. (1999) que utiliza uma transformação de similaridade no espaço tridimensional associada ao conceito de modelagem dos resíduos.

Salienta-se que a partir de 1997 os usuários do Banco de Dados Geodésicos do IBGE passaram a receber somente os valores das coordenadas reajustadas com seus respectivos desvios padrão, o que proporcionou ao usuário o conhecimento da confiabilidade das coordenadas das estações. Esta confiabilidade é traduzida pelo desvio padrão das coordenadas. O valor médio do desvio padrão das coordenadas horizontais após o reajustamento é de 10 cm para as estações GPS e de 50 cm para as estações da rede clássica (COSTA, S.M.A, 1999, p.88). A nomenclatura SAD 69 não foi oficialmente alterada com a nova realização. Isto pode acarretar diversos problemas, uma vez que as diferenças de coordenadas nas duas realizações são significativas para determinadas aplicações. Segundo o IBGE (1996), o deslocamento horizontal das coordenadas aumenta proporcionalmente com a distância do ponto origem, chegando a atingir cerca de 15 metros. Ainda, as grandes diferenças (da ordem de 50 m) em estações localizadas no estado do Amapá são em decorrência de problemas encontrados nos resultados antigos (IBGE, 1996, p.42). A Tabela 5 indica o efeito de uma variação de 15 m nas escalas do mapeamento sistemático:

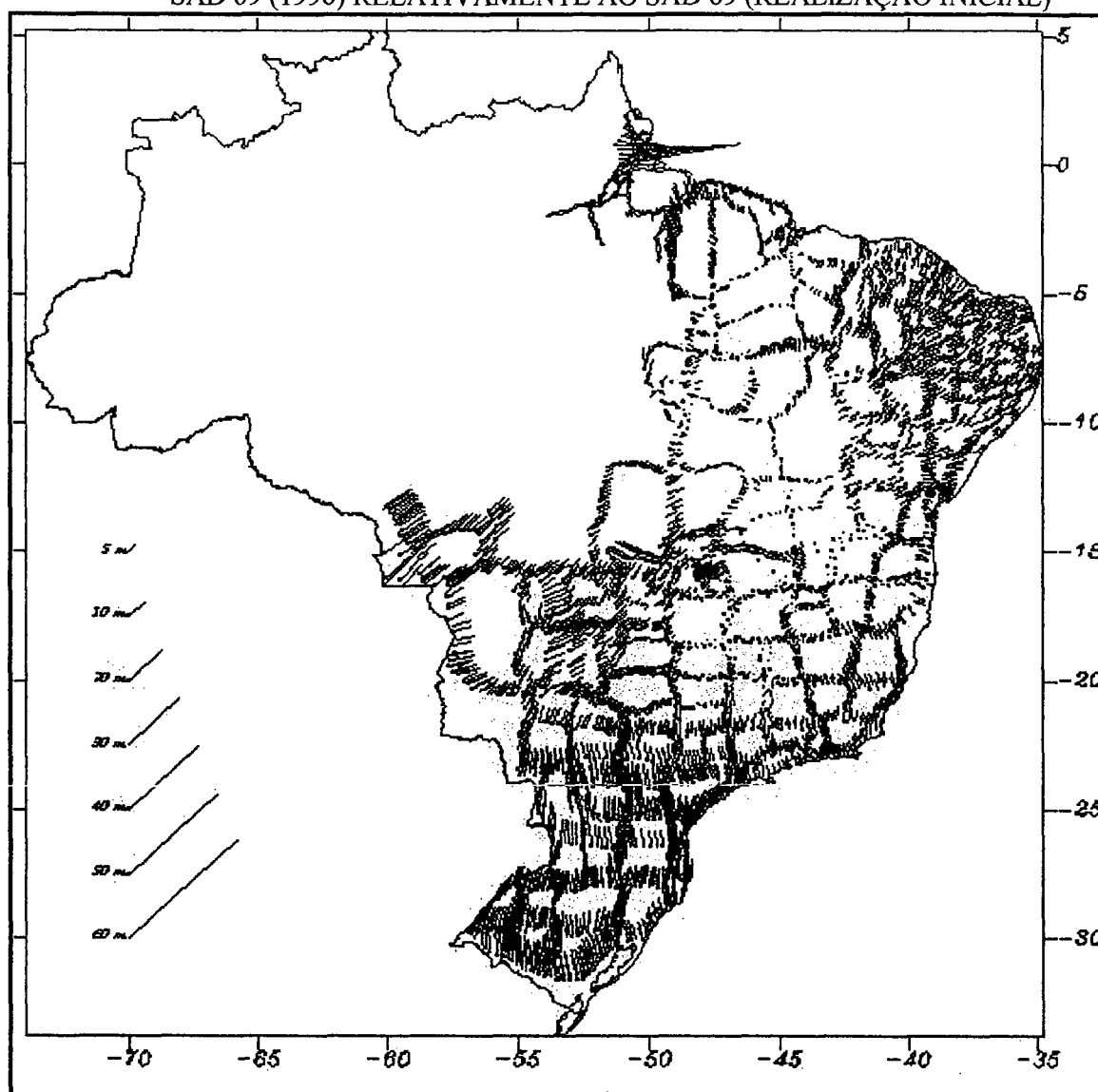
TABELA 5 – EFEITO DA VARIAÇÃO DE 15 m NAS ESCALAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

ESCALA DA CARTA	EFEITO (mm)
1 : 1 000 000	0,015
1 : 500 000	0,03
1 : 250 000	0,06
1 : 100 000	0,15
1 : 50 000	0,3
1 : 25 000	0,6

A menor resolução perceptível pelo olho humano é de cerca de 0,2 mm, considerando este valor como limite mínimo a partir do qual as variações começam a ser significativas, pode-se observar que para as escalas do mapeamento sistemático, uma alteração de 15 m nas coordenadas começa a ser significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:50 000. Um aspecto importante é que o efeito indicado na Tabela 5 é causado apenas pela variação nas coordenadas da rede clássica devido ao reajustamento da rede. O efeito final, segundo a escala da carta, é possivelmente pior, pois se deve considerar ainda os erros inerentes a densificação da rede, os cometidos durante a realização do apoio de campo, enfim, o efeito indicado na Tabela 5 não considera os erros inerentes às diferentes fases do mapeamento.

A Figura 4 apresenta, para a rede clássica, os vetores de variação das coordenadas horizontais entre o SAD 69 (realização inicial) e o SAD 69 (realização 1996). Analisando a figura verifica-se que, no caso da rede clássica, estes vetores assumem amplitudes sistemáticas em relação ao Datum Chuá. Cabe ressaltar que as coordenadas do vértice Chuá não sofreram alteração com o reajustamento. Através da Figura 4 observa-se que para o estado do Paraná as variações entre as coordenadas antigas e as reajustadas são da ordem de 10 m. A variação de aproximadamente 10 m produz um efeito de 0,2 mm nas cartas em escala 1:50 000, sendo então significativa para escalas maiores ou iguais a 1:50 000.

FIGURA 4 - VETORES DE VARIAÇÃO DAS COORDENADAS HORIZONTAIS DA RGB SAD 69 (1996) RELATIVAMENTE AO SAD 69 (REALIZAÇÃO INICIAL)



FONTE: IBGE, 1996, p. 46

Porém o caráter sistemático não é verificado na Rede Geodésica GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná. A Tabela 6 indica as coordenadas das estações que compõem a rede em ambas as realizações do SAD 69, realização inicial e realização 1996. Já a Tabela 7 mostra a diferença entre as coordenadas geodésicas (latitude e longitude), expressas em centímetros, entre as duas realizações do SAD 69, bem como o vetor horizontal resultante da diferença destas coordenadas.

TABELA 6 - COORDENADAS NA REALIZAÇÃO SAD 69 E SAD 69 (1996) DA REDE GPS DE ALTA PRECISÃO DO PARANÁ

DESCRIÇÃO		SAD-69		
Ponto	Local	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	h (elip) (m)
91578	Foz do Iguaçu	25 25 10.15191	54 34 05.34608	230.20
91642	Curitiba	25 25 58.53740	49 20 24.61849	955.54
91643	Ponta Grossa	25 05 41.64421	50 06 16.74381	914.60
91644	Jaguariaíva	24 14 29.06792	49 42 15.62844	918.12
91645	Joaquim Távora	23 30 17.28382	49 56 45.16724	516.46
91646	Ortigueira	24 12 04.35130	50 55 55.36803	768.59
91647	Londrina	23 19 20.05643	51 12 05.98103	586.44
91648	Maringá	23 24 19.46150	51 55 58.79631	544.36
91649	Iretama	24 25 12.64874	52 07 19.12354	580.03
91650	Paranavaí	23 05 32.10576	52 26 26.53297	470.32
91651	Goioerê	24 09 51.18984	53 01 56.79544	448.69
91652	Querência do Norte	23 04 06.73041	53 28 46.68048	329.50
91653	Guaíra	24 04 50.13923	54 15 40.56262	233.57
91654	Toledo	24 46 46.16390	53 43 26.99064	472.01
91655	Francisco Beltrão	26 03 31.95745	53 03 53.33140	651.60
91656	Laranjeiras do Sul	25 25 26.74312	52 24 41.85223	881.22
91657	Clevelândia	26 24 57.76798	52 20 55.69603	972.69
91658	Guarapuava	25 21 14.82925	51 27 56.90550	1067.69
91659	Bituruna	26 09 42.31540	51 32 12.52743	894.13
91660	São Mateus do Sul	25 51 34.61574	50 23 48.85953	793.17

DESCRIÇÃO		SAD 69 (1996)		
Ponto	Local	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	h (elip) (m)
91578	Foz do Iguaçu	25 25 10.152410	54 34 05.343880	230.3588
91642	Curitiba	25 25 58.538584	49 20 24.616238	955.5862
91643	Ponta Grossa	25 05 41.645369	50 06 16.739695	915.0740
91644	Jaguariaíva	24 14 29.068120	49 42 15.626150	918.7239
91645	Joaquim Távora	23 30 17.283849	49 56 45.163250	516.9136
91646	Ortigueira	24 12 04.351867	50 55 55.364331	768.8707
91647	Londrina	23 19 20.056452	51 12 05.977423	586.8741
91648	Maringá	23 24 19.461993	51 55 58.791273	544.5463
91649	Iretama	24 25 12.649243	52 07 19.118659	579.9752
91650	Paranavaí	23 05 32.106047	52 26 26.537855	470.1478
91651	Goioerê	24 09 51.190178	53 01 56.793009	448.6174
91652	Querência do Norte	23 04 06.729962	53 28 46.679505	329.6304
91653	Guaíra	24 04 50.140432	54 15 40.569525	234.2930
91654	Toledo	24 46 46.174258	53 43 27.001433	472.1080
91655	Francisco Beltrão	26 03 31.992277	53 03 53.380351	652.0574
91656	Laranjeiras do Sul	25 25 26.735847	52 24 41.863150	881.7493
91657	Clevelândia	26 24 57.815099	52 20 55.766398	973.7498
91658	Guarapuava	25 21 14.828012	51 27 56.905779	1067.9386
91659	Bituruna	26 09 42.326560	51 32 12.508739	894.9662
91660	São Mateus do Sul	25 51 34.621123	50 23 48.865778	793.4210

FONTE: FREITAS; DALAZOANA, 2000, não paginado



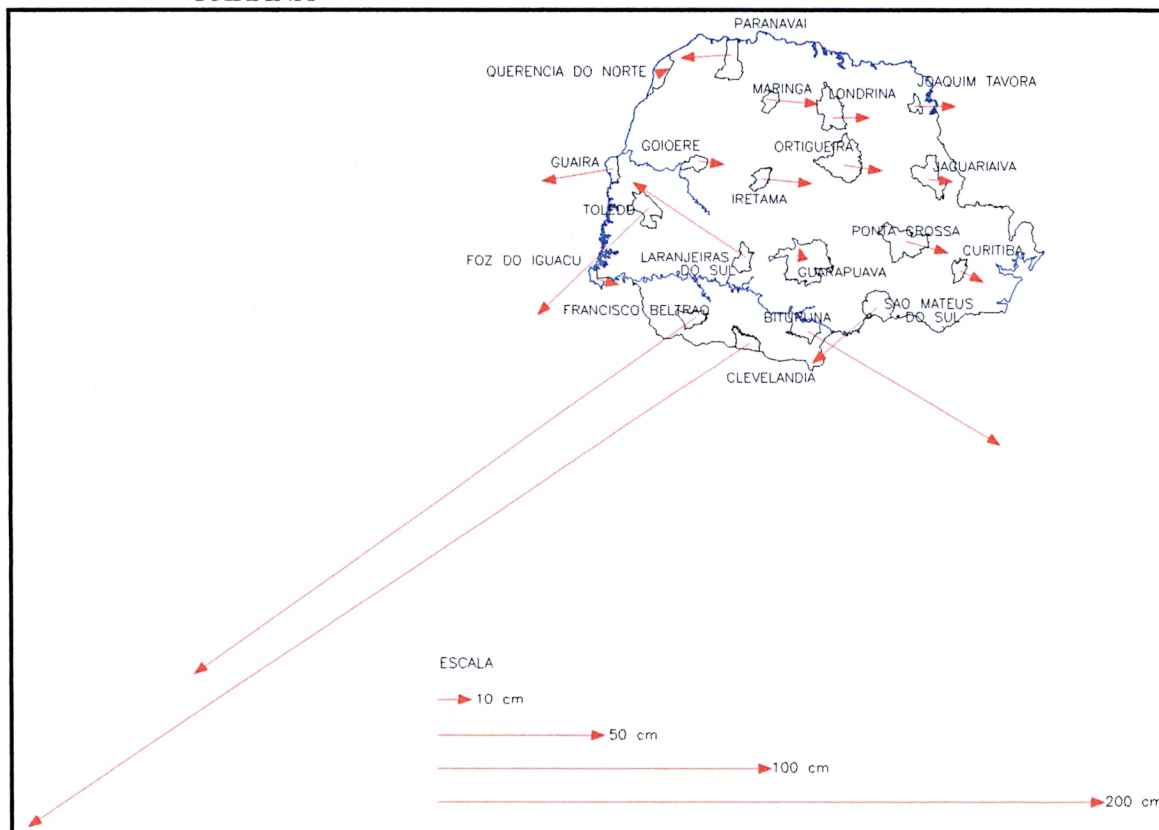
TABELA 7 - DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS GEODÉSICAS (LATITUDE E LONGITUDE) E VETOR HORIZONTAL RESULTANTE PARA A REDE GPS DE ALTA PRECISÃO DO PARANÁ

DESCRIÇÃO		DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS GEODÉSICAS		VETOR HORIZONTAL RESULTANTE
Ponto	Local	$\delta\phi$ (cm)	$\delta\lambda$ (cm)	r (cm)
91578	Foz do Iguaçu	-1,54	6,80	6,97
91642	Curitiba	-3,66	6,96	7,86
91643	Ponta Grossa	-3,58	12,71	13,20
91644	Jaguariaíva	-0,62	7,07	7,10
91645	Joaquim Távora	-0,09	12,33	12,33
91646	Ortigueira	-1,75	11,43	11,56
91647	Londrina	-0,07	11,14	11,14
91648	Maringá	-1,52	15,56	15,63
91649	Iretama	-1,55	15,08	15,16
91650	Paranavaí	-0,89	-15,09	15,12
91651	Goioerê	-1,04	7,51	7,58
91652	Querência do Norte	1,38	3,01	3,31
91653	Guaíra	-3,71	-21,33	21,65
91654	Toledo	-32,00	-33,34	46,21
91655	Francisco Beltrão	-107,59	-151,22	185,59
91656	Laranjeiras do Sul	22,47	-33,73	40,53
91657	Clevelândia	-145,56	-217,38	261,61
91658	Guarapuava	3,82	-0,86	3,91
91659	Bituruna	-34,47	57,74	67,25
91660	São Mateus do Sul	-16,63	-19,30	25,48

NOTA: Para o cálculo das diferenças entre as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) em centímetros, considerou-se um raio médio para a Terra igual a 6 372 km.

Uma melhor visualização dos dados contidos na Tabela 7 pode ser obtida através da Figura 5, na qual são plotadas a magnitude e a orientação do vetor resultante. Este vetor resultante indica a variação total das coordenadas geodésicas horizontais, latitude e longitude, entre as duas realizações do SAD 69 para cada estação que compõe a rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná.

FIGURA 5 - VETORES DE VARIAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS ENTRE AS DUAS REALIZAÇÕES DO SAD 69 PARA A REDE GPS DO ESTADO DO PARANÁ



Conforme pode ser constatado na Figura 5 as variações não apresentam caráter sistemático em todo o estado, apenas em determinadas regiões. Na figura é possível observar que os vetores resultantes dos vértices localizados nas cidades de Guaíra, Toledo, Francisco Beltrão, Clevelândia e São Mateus do Sul possuem orientação sudoeste. Já os vetores resultantes dos vértices localizados em Maringá, Londrina, Joaquim Távora, Ortigueira, Goioerê, Iretama, Jaguariaíva, Ponta Grossa, Curitiba e Bituruna, possuem orientação de leste a sudeste. Quanto à magnitude, existem variações aleatórias entre os valores iniciais e os reajustados, que chegam de poucos centímetros até aproximadamente três metros. As mínimas variações em latitude e longitude ocorreram na estação Querência do Norte, nesta estação houve uma variação de cerca de 1,38 cm em latitude e de 3,01 cm em longitude, resultando numa variação total de 3,31 cm. As máximas variações em latitude e longitude

ocorreram na estação Clevelândia, onde houve uma variação aproximada de 145,56 cm em latitude e de 217,38 cm em longitude, resultando numa variação total de 261,61 cm.

A variação de aproximadamente 10 m nas coordenadas dos vértices da rede clássica no Paraná não é significativa para as escalas menores do que 1:50 000 assim como as variações nas coordenadas dos pontos da Rede GPS de Alta Precisão do Estado. Porém a preocupação que surge é quanto à falta de conhecimento dos usuários quanto às transformações ocorridas, pois é possível verificar a implantação de novas redes GPS e até mesmo, de redes empregadas para o apoio à Cartografia, com base em pontos da rede clássica, com base em pontos da rede GPS de alta precisão e de forma mista. E estas novas redes são vinculadas ora à antiga, ora à nova realização do SAD 69. Devido a deficiências na base geodésica, os produtos cartográficos gerados, incluindo os cadastrais e em SIG, em escalas grandes, podem ser completamente distorcidos e incompatíveis com outros produtos. Os órgãos envolvidos com a produção cartográfica no Estado deveriam ter a clara concepção dos produtos que estão sendo gerados, porém isso nem sempre é verdadeiro e a situação torna-se mais crítica quando se trata da comunidade usuária leiga que desconhece a maioria dos aspectos abordados anteriormente.

## 2.4 ADOÇÃO DE UM SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA A AMÉRICA DO SUL

Até o advento da Geodésia por satélites, nas décadas de 60 e 70, a diferença entre os centros dos elipsóides de referência, adotados nos mais diversos SGRs nacionais, e o centro de massa da Terra não era realmente conhecida. Devido a isto, eram determinadas orientações locais para cada sistema geodésico de referência. Esta era a única forma de realização possível na prática e foi válida para vários sistemas de referência nacionais que foram desenvolvidos nesta mesma época em todo o mundo. No final da década de 80 e na década de 90, o uso crescente do GPS e as distorções

causadas na materialização dos sistemas de referência nacionais evidenciaram as inconsistências existentes entre estes e os sistemas de referência internacionais (sistemas baseados na adoção de elipsóides geocêntricos) (OSG, 2000). Além disto, as demais técnicas de posicionamento geodésico atingiram um alto grau de precisão o que tornou necessária a adoção de sistemas de referência que possibilitem um georeferenciamento global, de forma a compatibilizar e promover a integração das informações internacionalmente e que considerem a variação temporal das coordenadas de acordo com a dinâmica terrestre, de forma a tomar vantagem da alta precisão oferecida pelos atuais sistemas de posicionamento global.

Desta maneira, um sistema geodésico de referência moderno deve ser definido com base na adoção de um elipsóide de revolução cuja origem coincida com o centro de massas da Terra e deve ser materializado através de uma rede de estações com coordenadas geodésicas tridimensionais conhecidas. Atualmente, o modelo geométrico de referência recomendado pela Associação Internacional de Geodésia (IAG) é o GRS80 (*Geodetic Reference System, 1980*) e o referencial mais preciso é o ITRS [IERS (*International Earth Rotation Service*) *Terrestrial Reference System*] cuja materialização é chamada de ITRF [IERS (*International Earth Rotation Service*) *Terrestrial Reference Frame*]. O ITRS é materializado periodicamente devido à variação temporal das coordenadas das estações, com isso sua denominação vem sempre acompanhada do ano em que foi estabelecido (IBGE, 2000, p. 10).

Tendo em vista os aspectos evidenciados acima, muitos países já adotaram sistemas de referência geocêntricos, como por exemplo: Austrália, Estados Unidos, Canadá, países da Europa, África do Sul, Nova Zelândia (OSG, 2000) e Argentina. Neste sentido, o projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) foi criado na Conferência Internacional para Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, realizada em outubro de 1993 em Assunção, Paraguai, e teve estabelecidos os seguintes objetivos (IBGE, 1997, p. 1):

- a) definir um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul;

- b) estabelecer e manter uma rede de referência, e
- c) definir e estabelecer um datum geocêntrico.

Com vistas a atender os objetivos acima foram adotadas, durante a conferência, as seguintes definições:

- a) sistema de referência SIRGAS: Materialização do *International Terrestrial Reference System* (ITRS) na América do Sul via estações GPS, propiciando uma rede continental vinculada a um *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) em dada época;
- b) modelo geométrico geocêntrico: eixos coordenados baseados no ITRS e parâmetros do elipsóide GRS80.

A realização inicial do sistema SIRGAS é composta por 58 estações distribuídas pelo continente Sul Americano, conforme mostra a Figura 6, onze destas estações estão localizadas no Brasil, sendo que nove delas coincidem com estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). As coordenadas das estações SIRGAS foram determinadas através de uma campanha GPS realizada no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995 e referidas ao ITRF94, época 1995,4 (IBGE, 2000, p. 10).



FIGURA 6 - REDE SIRGAS 1995



FONTE: IBGE, 2000, p. 11

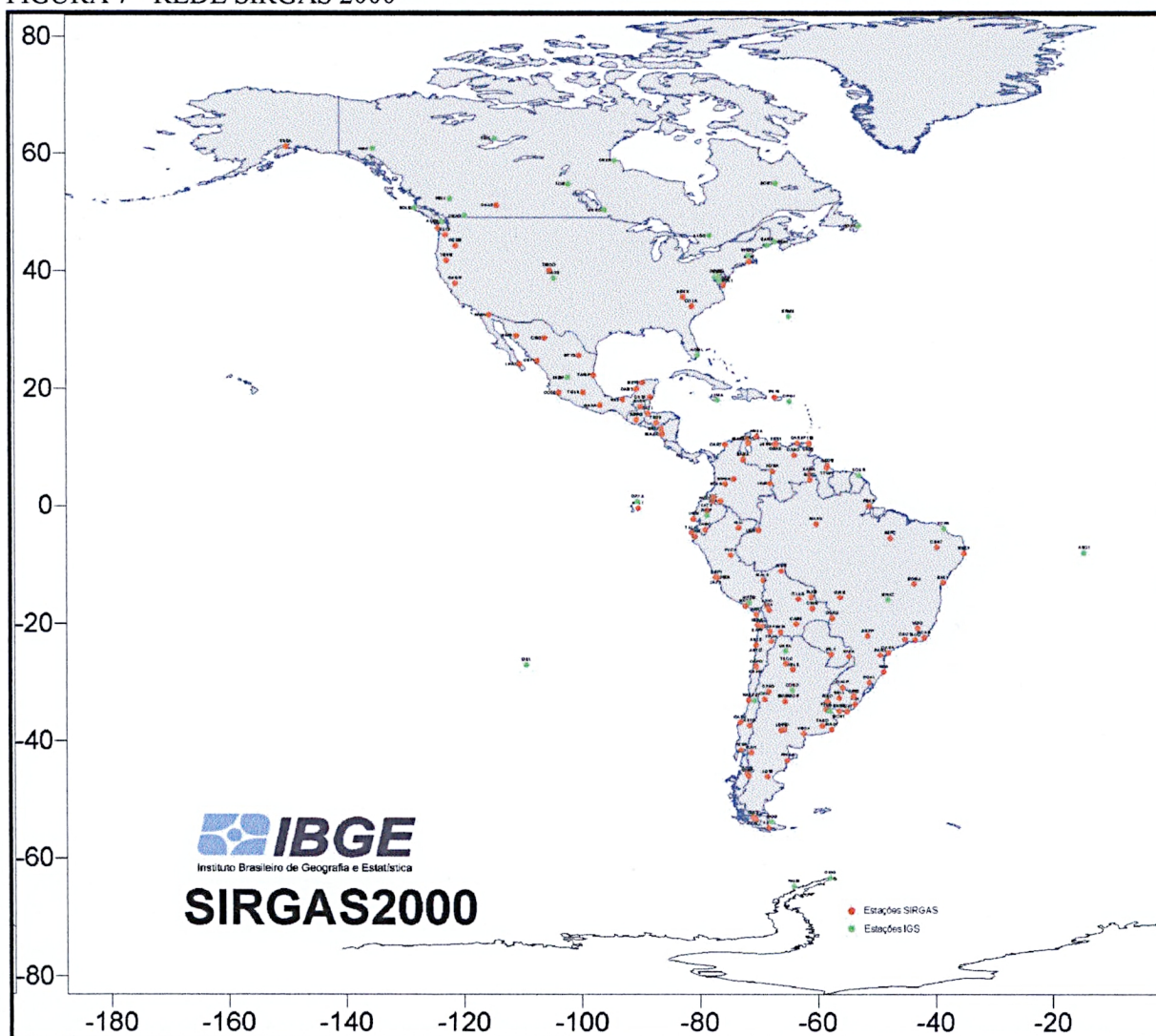
NOTA: os diferentes símbolos representam os vários receptores GPS utilizados durante a campanha SIRGAS de 1995.

No período de 10 a 19 de maio de 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000, tendo em vista a manutenção do SIRGAS como “referencial geodésico capaz de atender aos padrões atuais de posicionamento”, além de atender à componente altimétrica do SIRGAS. Esta componente altimétrica surgiu visando a definição e



implantação de um sistema altimétrico único para a América do Sul. Na campanha de 2000 foram reocupadas as estações da campanha de 1995, ocupadas estações próximas aos marégrafos que definem o referencial altimétrico em cada país e ocupadas estações altimétricas próximas às fronteiras entre os países. Esta nova campanha é composta por 184 estações situadas na América do Sul, América Central e América do Norte (IBGE, 2001a) conforme mostra a Figura 7. De acordo com resolução tomada durante o *IAG Symposium on Vertical Reference Systems, Cartagena 2001*, o Sistema SIRGAS passou a ser denominado Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

FIGURA 7 - REDE SIRGAS 2000



FONTE: IBGE, 2001a

Segundo FORTES (2000), a rede SIRGAS constitui-se numa das redes geodésicas continentais mais precisas do mundo. O WGS 84 (G873) possui características muito próximas ao SIRGAS, podendo ambos, para efeitos práticos da Cartografia, serem considerados como equivalentes, o que não é válido quando se trata de fins científicos. O WGS 84 já sofreu duas atualizações, desde o estabelecimento do sistema GPS, nessas atualizações o objetivo foi aproximá-lo ao ITRF, por ser este último o mais preciso. Para fins cartográficos, a realização atual do WGS 84 pode ser considerada coincidente com as realizações do ITRS, uma vez que a diferença entre coordenadas de um ponto referidas aos dois sistemas está estimada em algo menor do que cinco centímetros. Tendo em vista que o SIRGAS constitui uma densificação do ITRF94 na América do Sul, a mesma coincidência com o WGS 84 pode ser assumida, conforme o exposto anteriormente (IBGE, 2000, p.12). A adoção do SIRGAS segue uma tendência atual tendo em vista as potencialidades do GPS e facilidades para os usuários, pois com um sistema geocêntrico as coordenadas obtidas com GPS relativamente a esta rede podem ser aplicadas diretamente a todos os levantamentos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois referenciais (FREITAS; DALAZOANA, 2000, não paginado).

A densificação da Rede SIRGAS é feita a partir da integração das redes geodésicas individuais dos países da América do Sul à Rede de Referência SIRGAS. Esta integração é importante para a verificação das distorções locais. A integração das redes nacionais com o SIRGAS vem sendo feita na Colômbia com o projeto MAGNA (*Marco Geocêntrico de Referência Nacional*) e na Argentina com o projeto POSGAR (*POSiciones Geodésicas ARGentinas*). Estes países optaram pelo desenvolvimento de novas redes. No Uruguai a rede planimétrica de 1ª ordem foi ajustada no sistema SIRGAS em 1998, obtendo-se parâmetros de transformação entre os dois sistemas e já estão sendo produzidos os primeiros produtos cartográficos em SIRGAS (COSTA, 2000). Na Venezuela, o projeto REGVEN (*Red Geocéntrica Venezolana*) tem como



objetivo o estabelecimento de uma rede geodésica de alta precisão caracterizada como uma densificação da rede SIRGAS. O sistema denominado SIRGAS-REGVEN foi oficialmente adotado na Venezuela em 1º de abril de 1999 em substituição ao PSAD 56 (La Canoa). A REGVEN vem sendo densificada desde 1995 e já foram determinados parâmetros de transformação entre SIRGAS-REGVEN e PSAD 56 (La Canoa), uma vez que existem muitos vértices de triangulação e poligonação referidos ao antigo sistema. Para o estabelecimento da REGVEN foram realizadas duas campanhas GPS, simultâneas às campanhas SIRGAS de 1995 e 2000 (IGVSB, 2001, não paginado).

COSTA, S.M.A. (1999) apresenta a integração da Rede Geodésica Brasileira ao SIRGAS, desenvolvida através de um ajustamento global e simultâneo da Rede Planimétrica Brasileira. Neste caso, foi realizado um ajustamento combinando as redes clássica e GPS e tendo como injeções as estações SIRGAS no Brasil. Apresenta ainda uma proposta para modelar as distorções provenientes das materializações de ambos os sistemas através de um modelo polinomial de distorção.

Já que o processo de transformação de coordenadas entre sistemas de referência por meio de parâmetros de transformação é considerado um dos métodos de integração, COSTA, S.M.A. (1999, p. 94) estimou parâmetros de transformação visando a integração do SAD 69 (realização 1996) com o SIRGAS. Os parâmetros foram estimados através do modelo matemático de similaridade e onze estações, sendo elas: Chuá, Curitiba (RBMC), Brasília (RBMC), Manaus (RBMC), 91696 (rede São Paulo), Presidente Prudente (RBMC), Cachoeira Paulista (SIRGAS), Rio de Janeiro (SIRGAS), Fortaleza (RBMC), Viçosa (RBMC) e Bom Jesus da Lapa (RBMC). Foram realizados testes com 3, 4 e 7 parâmetros e os resultados encontram-se na Tabela 8.

TABELA 8 – PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO SAD 69 (REALIZAÇÃO 96) PARA SIRGAS – TESTE DE 3, 4 E 7 PARÂMETROS COM 11 ESTAÇÕES

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO	3 PARÂMETROS	4 PARÂMETROS	7 PARÂMETROS
Translação em X (m) / $\sigma$	-67,358 / 0,013	-67,185 / 0,041	-67,084 / 0,085
Translação em Y (m) / $\sigma$	3,974 / 0,013	3,789 / 0,044	3,839 / 0,079
Translação em Z (m) / $\sigma$	-38,314 / 0,013	-38,386 / 0,020	-38,275 / 0,068
Rotação em X (") / $\sigma$	-	-	-0,0003 / 0,0021
Rotação em Y (") / $\sigma$	-	-	0,0060 / 0,0021
Rotação em Z (") / $\sigma$	-	-	-0,0024 / 0,0033
Escala (ppm) / $\sigma$	-	0,0420 / 0,010	0,0420 / 0,009

FONTE: COSTA, S.M.A., 1999, p. 94

IBGE (2000, p. 13) apresenta outro ensaio para a determinação de parâmetros de transformação, utilizando o modelo de similaridade e quatro estações cujas coordenadas eram conhecidas em SAD 69 (materialização 1996) e em SIRGAS. As estações utilizadas para a determinação destes parâmetros foram: Curitiba (RBMC), Cachoeira Paulista (SIRGAS), Brasília (RBMC) e Presidente Prudente (RBMC). Desconsiderando-as rotações e o fator de escala, os resultados obtidos são os indicados na Tabela 9 (IBGE, 2000, p. 13):

TABELA 9 – PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DE SAD 69 (REALIZAÇÃO 96) PARA SIRGAS – TESTE COM 4 ESTAÇÕES

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO	VALORES
Translação em X	-67,327 m $\pm$ 0,036 m
Translação em Y	3,899 m $\pm$ 0,036 m
Translação em Z	-38,292 m $\pm$ 0,036 m

FONTE: IBGE, 2000, p. 13

Salienta-se que estes resultados só poderão ser utilizados como oficiais a partir da adoção do SIRGAS como referencial do país (IBGE, 2000, p. 13). Os parâmetros de transformação apresentados nas Tabelas 8 e 9 são parâmetros globais, porém devido à mudança do elipsóide de referência e no centro (origem) do sistema de coordenadas, as diferenças entre o SAD 69 e o SIRGAS não se apresentam homogêneas sobre todo o território nacional. COSTA, S.M.A (1999, p. 95) mostra que as diferenças nas coordenadas planimétricas entre os sistemas SAD 69 (realização

1996) e SIRGAS, calculadas para as onze estações que participaram da geração dos parâmetros apresentados na Tabela 8, podem variar de 58 m na região Nordeste até 73 m na região Sul do Brasil. Considerando um deslocamento médio de 65 m no contexto nacional, sua correspondência segundo a escala da carta pode ser vista na Tabela 10.

TABELA 10 – EFEITO DA DIFERENÇA ENTRE O SAD 69 (1996) E O SIRGAS NAS DIFERENTES ESCALAS DO MAPEAMENTO

ESCALA	DESLOCAMENTO (mm)
1:1 000 000	0,065
1:500 000	0,13
1:250 000	0,26
1:100 000	0,65
1:50 000	1,30
1:25 000	2,60
1:10 000	6,5
1:5 000	13,0
1:2 000	32,5
1:1 000	65,0

FONTE: IBGE, 2000, p. 22

Analisando a Tabela 10, observa-se que a diferença entre SIRGAS e SAD 69 (1996) começa a ser significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:250 000. No caso das cartas em escala 1:250 000 uma variação de 65 m entre os dois sistemas provocaria um deslocamento de 0,26 mm. Esta variação torna-se extremamente sensível nas cartas em escalas grandes, como as cartas em escala cadastral.

Considerando os avanços obtidos através do Projeto SIRGAS no que diz respeito a um sistema geodésico de referência unificado, a 7<sup>th</sup> *United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas*, realizada em Nova York no período de 22 a 26 de janeiro de 2001, recomendou que os países membros das Américas integrem seus sistemas de referência nacionais a um sistema de referência compatível com o SIRGAS. Essa integração é importante pois diversos problemas como, por exemplo, os relativos as fronteiras entre países, podem ser resolvidos mais facilmente com a adoção de um sistema geodésico de referência único, além de facilitar a integração e o intercâmbio de dados, entre outros.

### **3 A CARTOGRAFIA SISTEMÁTICA NO BRASIL**

A etapa de planejamento, necessária ao desenvolvimento de uma nação, sua implementação e o monitoramento das alterações físicas resultantes, bem como a elaboração de estudos e projetos e a elaboração de anteprojetos de engenharia, são alguns dos muitos exemplos que podem ser citados e que requerem a existência de informações espaciais atualizadas, precisas e confiáveis. Muitas destas informações são obtidas através do mapeamento das feições que caracterizam o território da nação. Este mapeamento tem a função de fornecer informações confiáveis a respeito da estrutura física, terrestre e ambiental. Em suma, o mapeamento é multifinalitário, ou seja, serve a múltiplos propósitos e deve ser visto como necessário a toda a sociedade. A inexistência e/ou a desatualização do mapeamento dificulta o planejamento, a distribuição de recursos e a implantação de projetos, daí a extrema necessidade da existência de um programa organizado de mapeamento sistemático.

De forma geral, quando se trata de mapeamento, pode-se distinguir três classes de produtos cartográficos:

- a) cartas topográficas, que representam os topônimos, principais feições naturais e artificiais, ocupações, etc;
- b) cartas cadastrais, onde os principais objetos são os prédios (áreas e domínios públicos e privados) com os elementos básicos para o registro ou os equipamentos edificados ou implantados;
- c) cartas temáticas, onde a representação espacial privilegia ou distingue uma determinada característica de um fenômeno.

Cada produto contém informações referenciadas espacialmente e, portanto, vinculadas a um SGR. Alguns destes produtos tem como característica a definição de uma plataforma ou base para outros mais específicos e assim passam a ser considerados como partes de uma Base Cartográfica. Os produtos derivados conterão características

geométricas já definidas no produto base ou condicionadas por ele. Outro aspecto importante é o de que a recuperação das informações espaciais a partir de um produto cartográfico é afetada pela precisão do produto, escala, grau de generalização das informações e distorções oriundas da representação (FREITAS, 2001, não paginado).

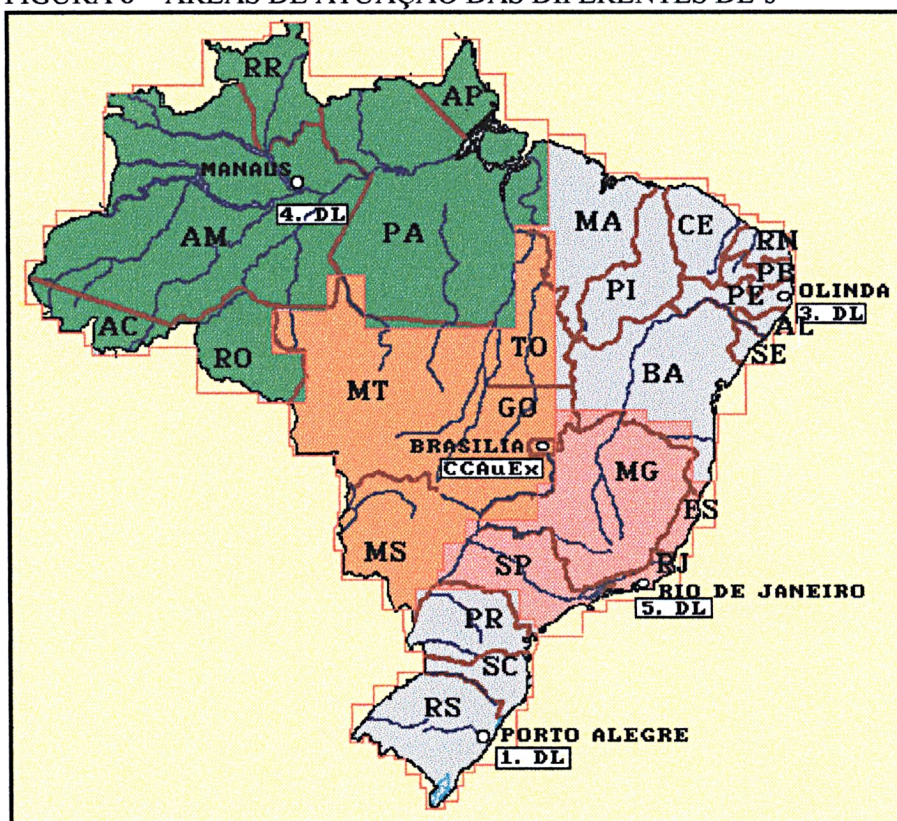
A tecnologia propiciava até a pouco tempo a análise visual do mapa em papel, hoje esta análise é baseada em um SIG ou em sistemas auxiliados por computador, o que de certa forma evidenciou ainda mais as diferenças entre os diferentes SGRs existentes no país. A introdução direta de produtos cartográficos num SIG ou em outro sistema similar, sem uma discussão das características, erros e distorções destes produtos e sem vínculo direto com um SGR, ou ainda com um vínculo desconhecido, gera produtos de má qualidade ou de qualidade desconhecida (FREITAS, 2001, não paginado).

### 3.1 O MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NACIONAL

O Mapeamento Sistemático Nacional é de responsabilidade do IBGE, juntamente com o Ministério do Exército por meio da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico). A DSG é composta pela 1ª DL (Divisão de Levantamento) localizada em Porto Alegre, pelo CCAuEx (Centro de Cartografia Automatizada do Exército) localizado em Brasília, pela 3ª DL localizada em Olinda, pela 4ª DL localizada em Manaus e pela 5ª DL localizada no Rio de Janeiro.

A Diretoria do Serviço Geográfico é responsável pelo mapeamento sistemático nas escalas de 1:250 000; 1:100 000; 1:50 000 e 1:25 000, sendo que cada DL possui uma área própria de atuação no território nacional, como mostra a Figura 8. O IBGE, além das escalas citadas acima, é responsável pelo mapeamento sistemático nas escalas de 1:1 000 000 e 1:500 000.

FIGURA 8 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DAS DIFERENTES DL's



FONTE: 1DL, 2001

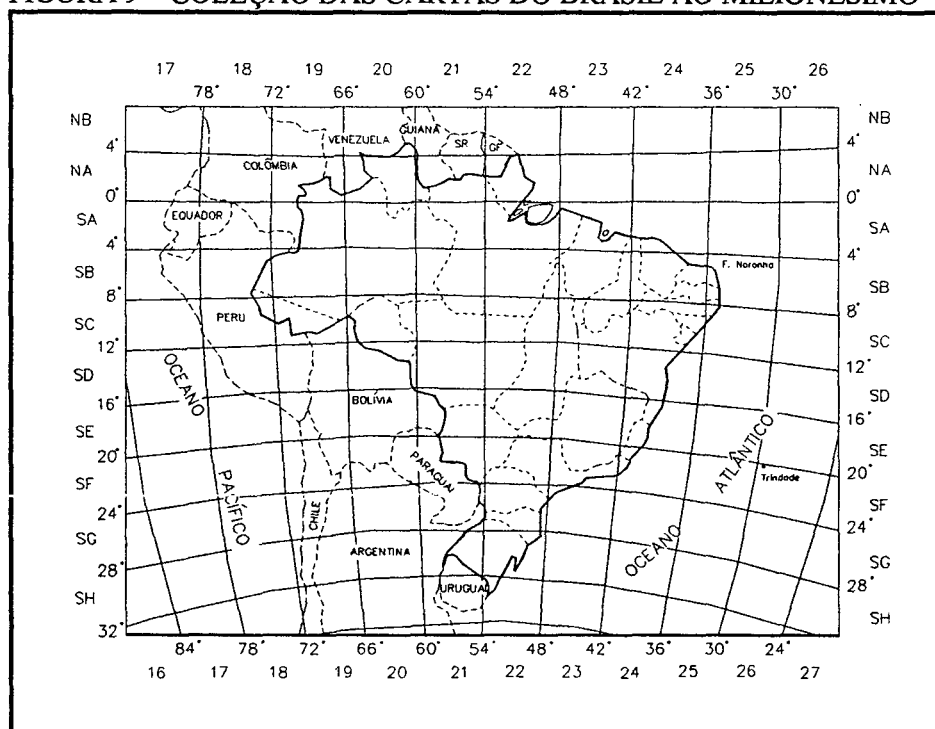
No mapeamento sistemático são representadas informações relativas aos aspectos físicos do terreno (hidrografia, vegetação e relevo) e informações relativas à localização de obras públicas, edificações, rodovias, ferrovias e aeroportos. Contém ainda, a toponímia dos acidentes geográficos e os pontos de controle geodésicos utilizados no mapeamento (IBGE, 2001b). O mapeamento sistemático pode ser definido a partir do conceito de séries de mapas, como indicado a seguir:

“Séries de mapas é a denominação genérica utilizada para se fazer referência ao conjunto de mapas que são produzidos para cobrir todo, ou parte, de um país. Esta série de mapas é produzida em escalas variadas, de forma sistemática e segundo especificações gerais, visando primeiramente atender as necessidades governamentais em seus diferentes níveis. Quando esta série se refere aos mapas topográficos, tem-se então o mapeamento topográfico sistemático” (VIEIRA, 2000, p. 5).

Um exemplo de série de mapas é a Carta Internacional ao Milionésimo,

caracterizada por mapas topográficos na escala de 1:1 000 000, sendo que cada um destes mapas possui uma amplitude de 4° de latitude por 6° de longitude. A carta do Brasil ao milionésimo é composta por uma coleção de 46 folhas (OLIVEIRA, 1993, p. 41), que podem ser visualizadas na Figura 9, esta coleção abrange todo o território nacional e adota a projeção policônica (IBGE, 2001b).

FIGURA 9 – COLEÇÃO DAS CARTAS DO BRASIL AO MILIONÉSIMO



A partir da folha ao milionésimo é feita a articulação de todo o mapeamento sistemático. Para o mapeamento sistemático do Brasil são utilizadas as seguintes séries: 1:250 000; 1:100 000; 1:50 000 e 1:25 000 (OLIVEIRA, 1993, p. 41), sendo que todas estas séries adotam o sistema de projeção UTM. As folhas publicadas que compõem cada série podem ser identificadas no mapa índice do Mapeamento Geral do Brasil. O principal propósito de um mapa índice é servir de referência a respeito do mapeamento existente no país e seus órgãos executores. O mapa índice adota a projeção policônica e apresenta o mapeamento topográfico sistemático executado pelo IBGE e por outras instituições, nas escalas de 1:100 000 a 1:25 000. Além disso, inclui



informações sobre o mapeamento sistemático nas escalas de 1:1 000 000 a 1:250 000 e o mapeamento temático executado pelo IBGE, assim como os vãos aerofotogramétricos realizados para a instituição (IBGE, 2001b).

As cartas referentes ao mapeamento sistemático nas escalas 1:1 000 000, 1:250 000 e 1:100 000, abrangem grande parte do território nacional. A Tabela 11 relaciona a série de mapas (relativo à escala da carta) com sua área de abrangência no território nacional. Através desta tabela é possível observar que nem todas as escalas têm caráter sistemático, ou seja, o país ainda possui grandes vazios cartográficos em determinadas escalas do mapeamento sistemático.

TABELA 11 – ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NACIONAL

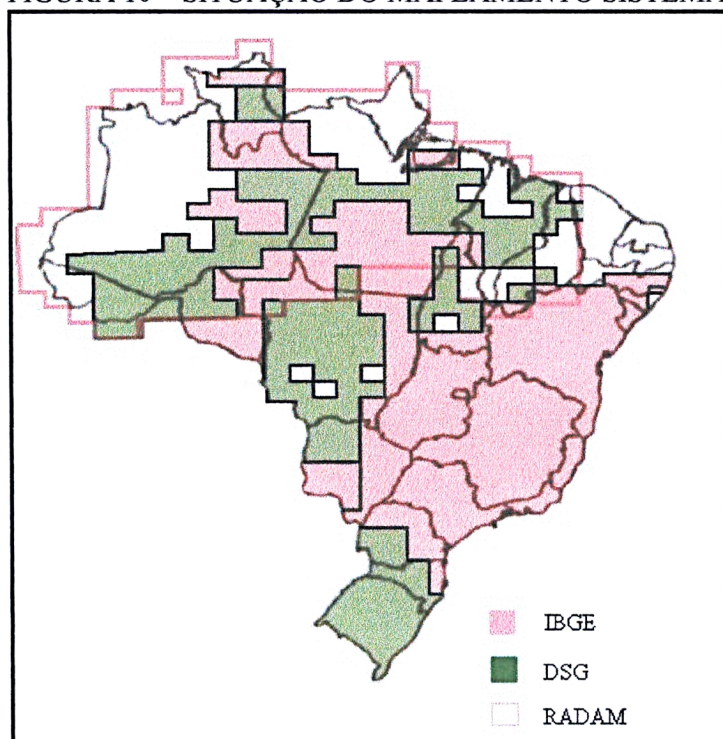
ESCALA DA SÉRIE DE MAPAS	ABRANGÊNCIA
1:1 000 000	100% do território nacional
1:250 000	80,72% do território nacional
1:100 000	75,39% do território nacional
1:50 000	13,9% do território nacional
1:25 000	Distrito Federal e parte do Estado de Goiás e das regiões Nordeste e Sul

FONTE: IBGE, 2001b

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam a situação do mapeamento sistemático realizado pelo IBGE, pela DSG e por outras organizações, nas escalas de 1:250 000, 1:100 000 e 1:50 000, respectivamente.

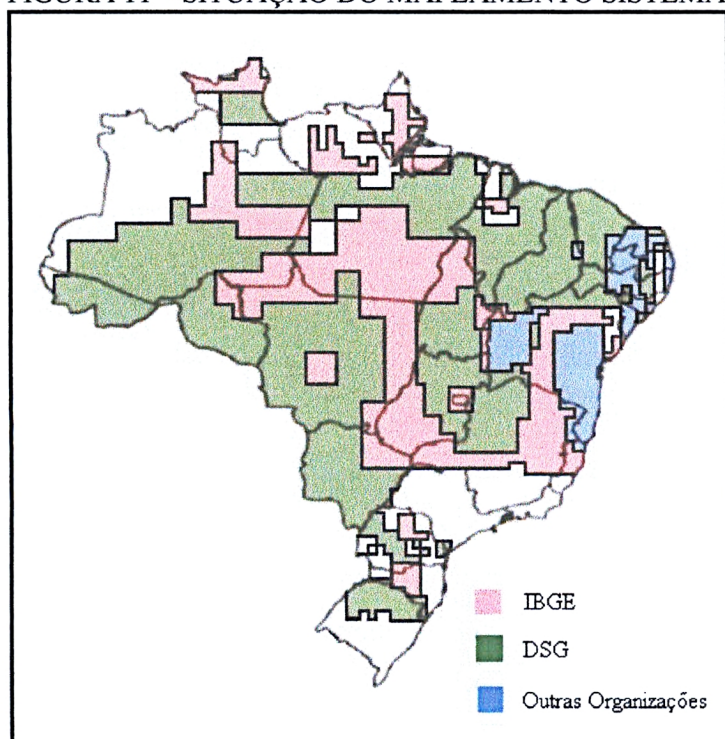


FIGURA 10 – SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:250 000



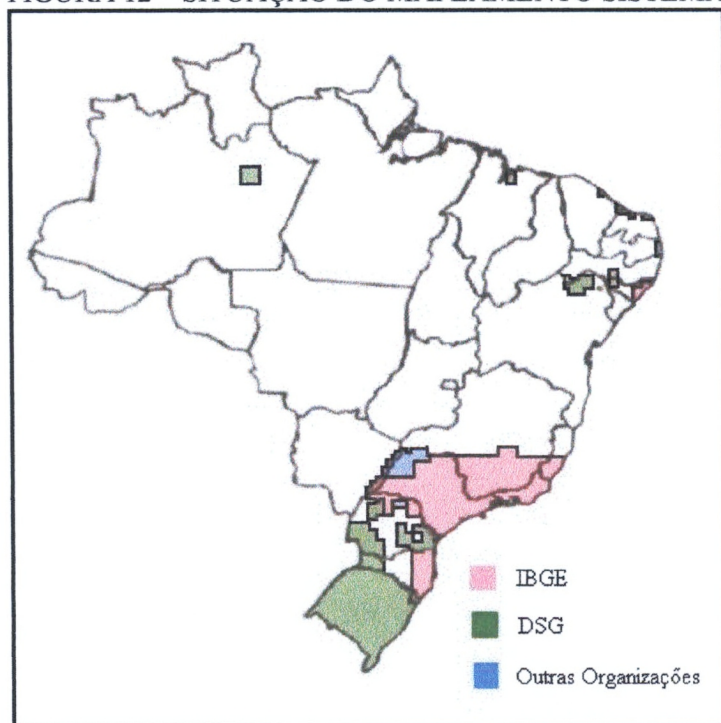
FONTE: IBGE, 2001e

FIGURA 11 – SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:100 000



FONTE: IBGE, 2001e

FIGURA 12 – SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO NA ESCALA DE 1:50 000



FONTE: IBGE, 2001e

A adoção do SIRGAS, do ponto de vista do mapeamento, requer que a maioria dos documentos cartográficos esteja em meio digital para que seja possível uma transformação maciça dos dados. Além disso, existe uma exigência muito grande quanto a disponibilização das informações em meio digital, pois o processamento e a representação digital de dados cartográficos propicia uma série de benefícios na forma de análises mais rápidas, precisas e sofisticadas, possibilita o cruzamento de informações, a geração de diferentes sub-produtos, entre outros. Neste sentido, tanto a DSG quanto o IBGE estão convertendo os mapas analógicos para o meio digital.

A DSG possui um Programa Interno de Trabalho (PIT), que caracteriza quais as metas a serem atingidas durante o ano. No PIT de 1999 foi realizada a conversão analógico-digital dos mapas produzidos pela DSG na escala de 1:250 000. A conversão destas cartas para o meio digital foi feita através de vetorização semi-automática utilizando o *software MicroStation*. Para tanto, os originais e a folha da

carta sofreram um processo de digitalização matricial por meio de um *scanner* de alta resolução. Por facilidade, cada original foi vetorizado separadamente e a folha da carta foi utilizada para conferência, uma vez que a vetorização semi-automática da folha da carta, com todas as informações presentes ao mesmo tempo, é demorada e complicada. A vetorização utilizando a folha da carta só foi realizada quando os originais cartográficos não estavam em bom estado ou já não existiam mais. A atualização destas cartas foi feita com imagens *Landsat 5* (30 metros de resolução espacial no modo multiespectral) do ano de 1998, porém não foi realizada nenhuma visita a campo. O Programa Interno de Trabalho dos anos de 2000 e 2001 refere-se a conversão das cartas na escala de 1:100 000, a conversão analógico-digital está em fase de execução e adota a mesma metodologia utilizada na conversão das cartas na escala de 1:250 000. As cartas em escala 1:100 000 e posteriormente as cartas em escalas maiores estão sofrendo, ou sofrerão, um processo denominado de validação cuja finalidade é preparar o arquivo digital para uso em SIG. Até o mês de julho de 2001 nenhuma destas cartas havia sido atualizada, porém a atualização se dará provavelmente através de imagens *Landsat 7* (com resolução espacial de 15 m no modo pancromático e 30 m no modo multiespectral). Na etapa de conversão, a DSG está mantendo o sistema de referência do mapa analógico. Salienta-se que existem alguns problemas, pois apesar das diferentes DL's adotarem a mesma metodologia de conversão, alguns produtos vizinhos não casam entre si, por exemplo, produtos de DL's diferentes (SOUZA, 2001).

No IBGE a conversão se dá por projeto e por demanda. As cartas analógicas foram produzidas nas décadas de 60, 70 e 80, com algumas exceções da década de 30. Os originais são transformados para o formato matricial por meio de um *scanner* de alta resolução. A vetorização é feita no *software MicroStation* de maneira semi-automática. Cada carta sofre um processo de validação cuja função é prepará-la para uso em SIG. O arquivo matricial é referenciado com base no SGR da carta analógica,

através de uma transformação afim. Porém, após a vetorização todas as cartas são referenciadas ao sistema SAD 69. A previsão do IBGE é de que até 2002 cerca de 50% do mapeamento sistemático esteja vetorizado, ou seja, esteja disponível em meio digital. Prevê ainda, que sejam necessários cerca de 10 anos para que 100% do mapeamento sistemático esteja disponível em meio digital, com banco de dados completo e preparado para uso em SIG. O setor de Sensoriamento Remoto foi implantado a cerca de dois anos no IBGE e pretende atualizar as cartas com imagens SPOT, porém salienta-se que atualmente nenhuma das cartas está sofrendo o processo de atualização.

O estado do Paraná está sendo mapeado pelo IBGE e pela DSG em escala 1:50 000 através do Projeto Copel. O IBGE é responsável pelo mapeamento de 42 folhas e está utilizando pontos da rede clássica com coordenadas conhecidas em SAD 69 (realização 1996) para a realização do apoio. Estas cartas já estão sendo geradas em meio digital. A DSG é responsável pela outra parte do mapeamento através de diferentes sub-projetos. Os diferentes sub-projetos da DSG incluem a atualização de cartas já existentes, a elaboração de nova documentação, a generalização a partir de cartas na escala 1:25 000, entre outros. Desta forma, as cartas elaboradas pela DSG estão referenciadas ao SAD 69 (realização inicial) o qual como indicado anteriormente (através da Figura 4, apresentada no item 2.3.3) possui uma variação de aproximadamente 10 m em relação à realização 1996 para a rede clássica no estado. Esta variação já pode ser considerada significativa para cartas na escala de 1:50 000, pois provoca um deslocamento de 0,2 mm nessas cartas.

### 3.1.1 A Articulação do Mapeamento Sistemático

As folhas do mapeamento sistemático adotam uma nomenclatura específica de códigos alfanuméricos, que pode ser gerada com relativa facilidade. O primeiro código, “S” ou “N”, caracteriza o hemisfério em função do valor da latitude,

evidenciando se o mapa é relativo ao hemisfério Sul ou Norte, respectivamente. O segundo código também é função da latitude e caracteriza a zona, para tanto a Terra é dividida em zonas a partir do Equador com 4° de amplitude em latitude e nomeadas de acordo com a Tabela 12:

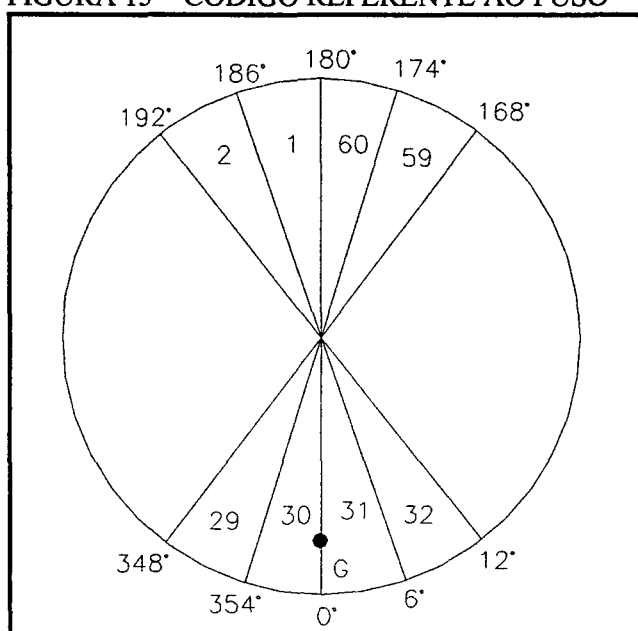
TABELA 12 – CÓDIGOS DE ZONA

LATITUDE	CÓDIGO
[4° 8°]	B
[0° 4°]	A
[0° -4°]	A
[-4° -8°]	B
[-8° -12°]	C
[-12° -16°]	D
[-16° -20°]	E
[-20° -24°]	F
[-24° -28°]	G

FONTE: VIEIRA, 2000, p.8

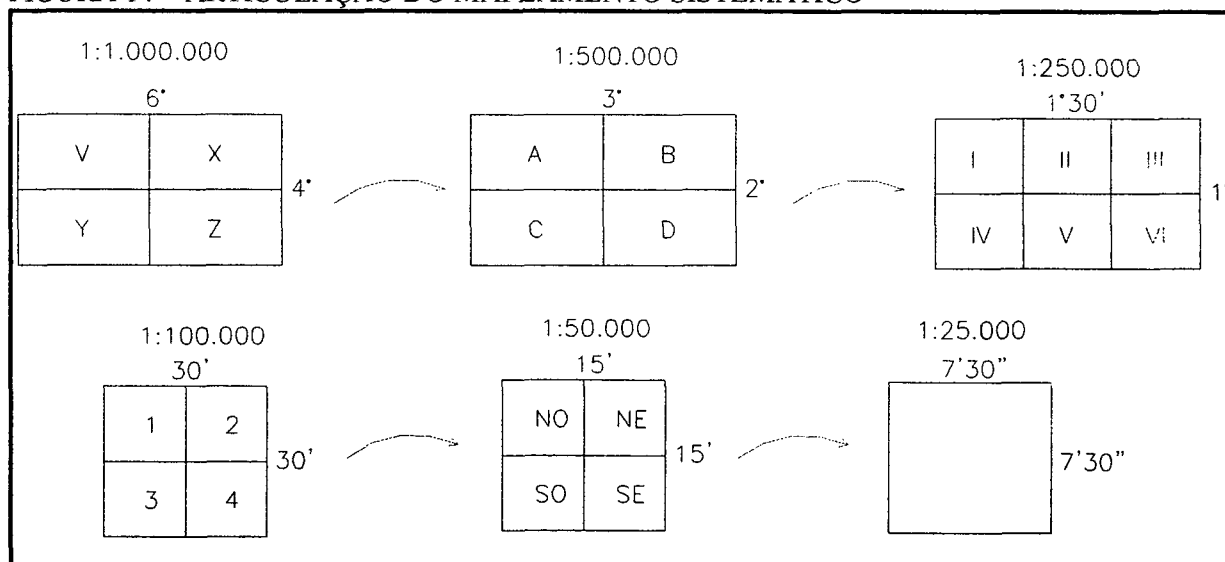
O terceiro código (código numérico) é função da longitude e caracteriza o fuso. Neste caso a Terra é dividida, segundo os meridianos, em 60 fusos com 6° de amplitude em longitude, estes fusos são numerados a partir do anti-meridiano de *Greenwich* por Leste, conforme a Figura 13.

FIGURA 13 – CÓDIGO REFERENTE AO FUSO



Os três primeiros códigos fornecem a nomenclatura da folha ao milionésimo. Os outros códigos, para as demais escalas, podem ser gerados graficamente através de uma subdivisão sucessiva da folha ao milionésimo, conforme mostra a Figura 14.

FIGURA 14 – ARTICULAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO .



### 3.2 SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

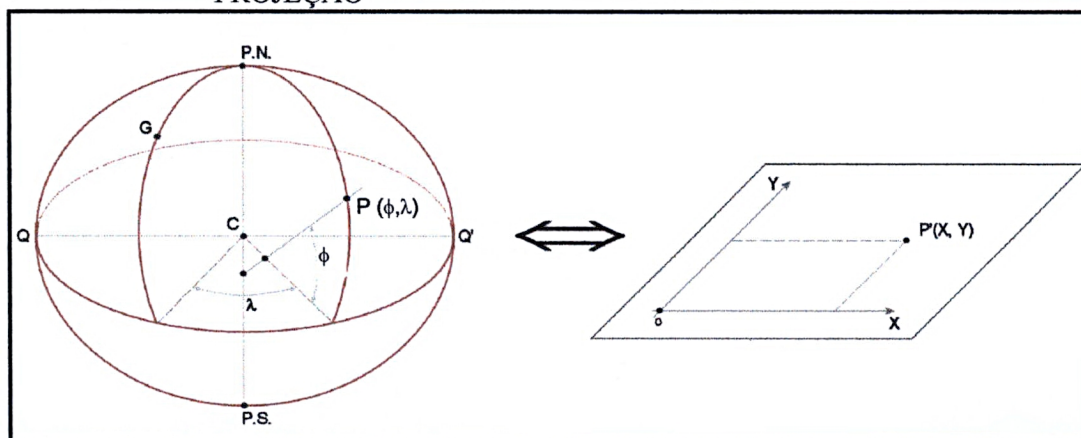
Uma vez que as estações e as feições existentes na superfície física da Terra possuem coordenadas conhecidas com respeito a uma superfície de referência (modelo) surge o problema de como representar estas posições de forma gráfica, ou seja, como gerar o mapa visto que a representação gráfica pode ser mais significativa do que um simples conjunto de números. O problema da representação gráfica da Terra sobre uma superfície plana é tratado pelas projeções cartográficas. Uma projeção cartográfica é uma representação sistemática no plano de toda ou parte de uma superfície curva, tal como a Terra (SNYDER, 1987, p. 3). A representação da superfície da Terra, considerada elipsóidica ou esférica, sobre uma superfície plana ou sobre uma superfície desenvolvível, acarreta deformações ou distorções inevitáveis (BAKKER, 1965, p. 9), uma vez que a representação de uma superfície curva sobre um plano não tem solução exata. As três superfícies básicas de projeção são o plano, o



cone e o cilindro, os dois últimos facilmente planificáveis sem acarretar em distorções adicionais (SMITH, 1996, p. 187).

Existem diversos métodos que podem ser estabelecidos e segundo os quais a cada ponto da Terra corresponda um ponto do mapa e vice-versa. Estes métodos constituem os chamados “sistemas de projeção” (BAKKER, 1965, p. 11). O objetivo fundamental de uma Projeção Cartográfica é o de determinar as funções definidoras de  $P$  (latitude  $\phi$  e longitude  $\lambda$ ) na superfície de referência (usualmente o elipsóide base do SGR) e de  $P'$  ( $X$  e  $Y$ ,  $N$  e  $E$ , ou outro par de coordenadas) no plano, conforme mostra a Figura 15.

FIGURA 15 – RELACIONAMENTO ENTRE A SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA E A DE PROJEÇÃO



FONTE: FREITAS, 2001, não paginado

Nas Projeções Cartográficas, para um conjunto de pontos são definidas as seguintes funções biunívocas:

$$X = f(\phi, \lambda) \quad \text{e} \quad Y = f'(\phi, \lambda)$$

e as transformações inversas

$$\phi = g(X, Y) \quad \text{e} \quad \lambda = g'(X, Y)$$

A Projeção Cartográfica deve propiciar a obtenção de distâncias, direções, áreas, etc. no sistema  $(X, Y)$ , com possibilidade de estimativa das distorções introduzidas. Sendo que em cada região do documento cartográfico devem ser consideradas a escala principal da representação e as distorções locais devidas à representação no plano (FREITAS, 2001, não paginado).

Não existe ainda nenhum sistema de projeção isento de distorções. As distorções variam em forma e magnitude de acordo com o tamanho da área envolvida, a escala da representação e o sistema de projeção adotado. As distorções ou deformações podem recair sobre os ângulos (forma), as distâncias (escala) e sobre as áreas. Na impossibilidade de eliminá-las totalmente pode-se evitá-las parcialmente, sendo possível representar uma porção da superfície terrestre de maneira a conservar uma ou outra de suas propriedades (BAKKER, 1965, p. 10). Cabe ao cartógrafo, escolher a característica ou o conjunto de características que devem ser representadas com maior precisão às custas de outras (SNYDER, 1987, p. 3). Ou seja, escolher o sistema de projeção de maneira que a carta possua propriedades que satisfaçam às finalidades impostas pela sua utilização. Estabelece-se então, quais as deformações admissíveis, quais as que devem ser anuladas e quais propriedades devem ser preservadas (BAKKER, 1965, p. 20).

A classificação das Representações Cartográficas pode ser realizada de duas maneiras: quanto aos critérios extrínsecos (ou em relação à superfície de projeção) e quanto aos critérios intrínsecos (ou em relação ao modelo de representação em si). Os critérios extrínsecos são (FREITAS, 2001, não paginado):

- a) Natureza: plano; cônico; cilíndrico;
- b) Coincidência: tangentes; secantes; polisuperficiais;
- c) Posição: normais; transversos; secantes;

Os critérios intrínsecos são:

- a) Propriedades: eqüidistantes; equivalentes; conformes; afiláticos;
- b) Geração: geométricos; semigeométricos; analíticos ou convencionais.



Quanto à propriedade, as projeções eqüidistantes são as que não apresentam deformações lineares, ou seja, os comprimentos são representados em escala uniforme, porém esta condição só é obtida em determinada direção. As projeções equivalentes não deformam as áreas, isto é, as áreas na carta guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra, embora em muitos casos as distâncias e os ângulos são distorcidos. As projeções conformes não deformam os ângulos e em decorrência desta propriedade não deformam a forma das pequenas áreas (BAKKER, 1965, p. 17). As projeções afiláticas não conservam ângulos, distâncias ou áreas. A seleção de uma Projeção Cartográfica, de acordo com as classificações apresentadas, está relacionada com as aplicações ou finalidades para as quais os documentos são concebidos.

Quanto à construção das cartas topográficas, esta envolve as seguintes fases (FREITAS, 2001, não paginado): seleção do SGR e superfície de referência; seleção da Projeção Cartográfica e articulação das cartas (distribuição espacial das cartas); estabelecimento da grade (reticulado ou canevá); preenchimento da grade (reticulado ou canevá) via Geodésia, Topografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, etc.

### 3.3 O SISTEMA UTM

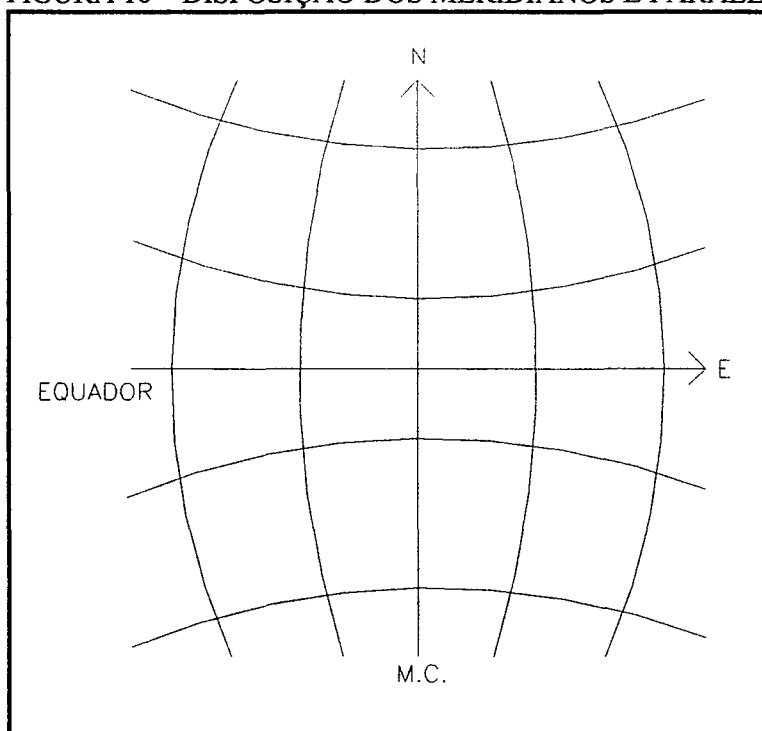
A Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) é adotada como projeção cartográfica do mapeamento sistemático brasileiro desde 1956. O sistema UTM é uma modificação da Projeção Transversa de Mercator (TM), surgiu na década de 40 devido à necessidade de um sistema de projeção global para o apoio aos trabalhos geodésicos visando atender aos interesses militares. Existia, entre outras, a necessidade de minimizar as distorções em azimuth e de manter as distorções em escala dentro de certos limites (SMITH, 1996, p. 191). É obtido pela adoção do cilindro transversal (o eixo do cilindro está no plano do Equador), secante ao elipsóide de referência e foi recomendado em 1951 pela União Geodésica e Geofísica

Internacional. Para o estabelecimento do sistema UTM, a superfície do elipsóide de referência é dividida em 60 fusos, a partir do anti-meridiano de *Greenwich* para leste conforme a Carta Internacional ao Milionésimo. Cada fuso tem uma amplitude de  $6^\circ$  em longitude e o sistema fica limitado entre as latitudes  $80^\circ$  N e  $80^\circ$  S. Estabeleceu-se também para cada fuso um sistema de coordenadas retangulares cujos eixos são o meridiano central (abscissa X) e o Equador (ordenada Y). Este sistema de coordenadas retangulares constitui o chamado grid ou quadrícula UTM. A abscissa X é denominada de eixo N = “norte”, e a ordenada Y é denominada de eixo E = “este”.

No Hemisfério Norte a intersecção do Equador com o meridiano central é considerada a origem, com uma coordenada E (este) igual a 500 000 m e N (norte) igual a 0 m. Para o Hemisfério Sul considera-se o mesmo ponto como origem, porém enquanto a coordenada E (este) permanece igual a 500 000 m, a coordenada N (norte) vale 10 000 000 m. Em ambos os casos as coordenadas aumentam para o leste e para o norte, ou seja, no hemisfério norte as coordenadas N aumentam a partir do Equador e no hemisfério sul, as coordenadas N decrescem a partir do Equador. Já as coordenadas E crescem a partir do meridiano central para leste e decrescem a partir do meridiano central para oeste.

A linha do Equador e a linha do meridiano central de cada fuso são representadas por linhas retas na projeção. Os demais meridianos são representados por linhas côncavas em relação ao meridiano central e os paralelos são representados por linhas côncavas em relação ao pólo mais próximo, como mostra a Figura 16 (SILVA; ERWES, 1996, p. 41).

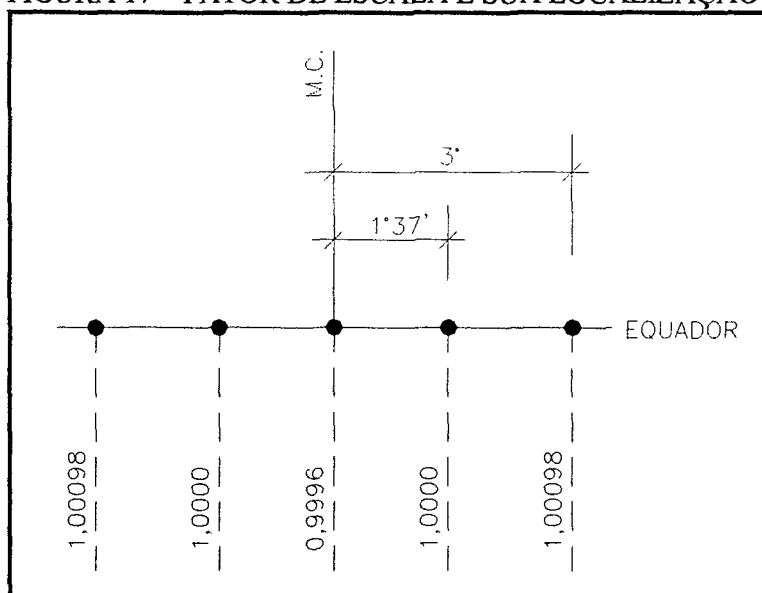
FIGURA 16 – DISPOSIÇÃO DOS MERIDIANOS E PARALELOS NA PROJEÇÃO UTM



FONTE: SILVA; ERWES, 1996, p. 42

No sistema UTM, o meridiano central de cada fuso possui um fator de redução igual a 0,9996, com a finalidade de reduzir as deformações nos extremos do fuso (BAKKER, 1965, p. 202). O cilindro é secante ao elipsóide segundo duas linhas, chamadas de linhas de secância, cujo fator de escala é igual a 1, ou seja, ao longo destas linhas a escala está em verdadeira grandeza. Já os meridianos de extremo de fuso possuem um fator de ampliação igual a 1,00098 sobre o Equador. O fator de escala é um fator pontual. Ele varia em função da localização do ponto na superfície plana (SILVA; ERWES, 1996, p. 55). A Figura 17 é uma representação gráfica dos valores do fator de escala em função de sua localização no fuso UTM.

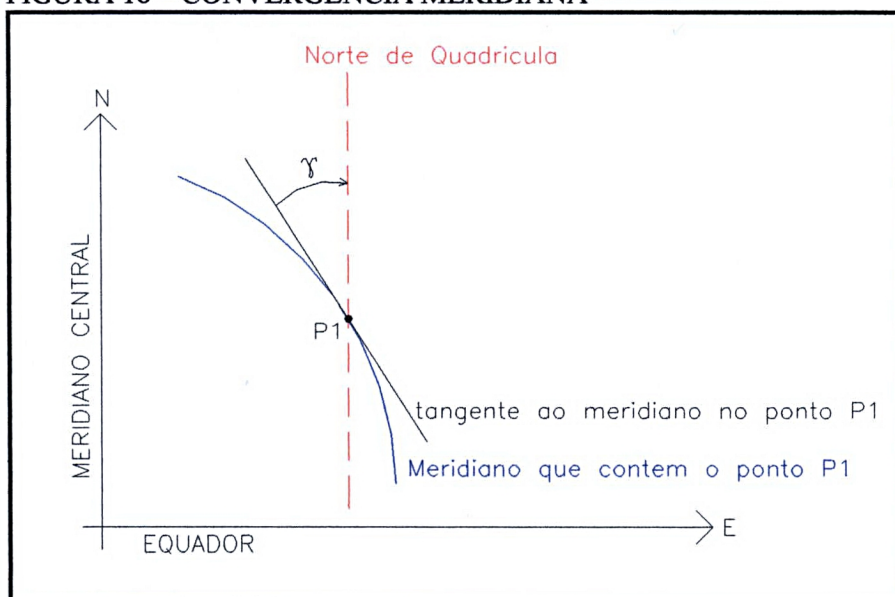
FIGURA 17 – FATOR DE ESCALA E SUA LOCALIZAÇÃO NO FUSO UTM



FONTE: SILVA; ERWES, 1996, p. 42

Como dito anteriormente as quadriculas UTM formam no mapa um sistema de coordenadas retangular. A direção do eixo N define, no plano UTM, a direção do chamado norte do grid ou norte de quadricula. Com exceção de pontos localizados no meridiano central e no Equador, a direção do norte de quadricula difere da direção do norte geográfico, ou seja, da direção do meridiano por um ângulo  $\gamma$ , chamado de convergência meridiana e cujo valor varia de ponto a ponto (BLACHUT, et al., 1979, p. 27). A convergência meridiana é contada a partir do norte verdadeiro em direção ao norte de quadricula, conforme a Figura 18.

FIGURA 18 – CONVERGÊNCIA MERIDIANA



Salienta-se que como o sistema UTM adota para a Terra o modelo elipsoidal, deve-se levar em consideração que o elipsóide de referência não é o mesmo para todas as regiões da Terra (SNYDER, 1987, p. 58), ou seja, o elipsóide que serve como modelo para o sistema UTM é o mesmo elipsóide adotado como modelo na definição do Sistema Geodésico de Referência (SGR) de um país, por exemplo.

### 3.3.1 Transformação de Coordenadas Geodésicas para Coordenadas UTM

Na bibliografia existem diferentes formulários e tabelas cuja função é transformar coordenadas geodésicas (latitude e longitude) em coordenadas UTM (Norte e Este). KRAKIWSKY (1973) apresenta, para a Projeção Transversa de Mercator (TM), o desenvolvimento de expressões para a transformação de coordenadas geodésicas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) em coordenadas da Projeção TM ( $X_{TM}$ ,  $Y_{TM}$ ) e de coordenadas da Projeção TM ( $X_{TM}$ ,  $Y_{TM}$ ) para coordenadas geodésicas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ). A primeira é chamada de transformação direta e a segunda de transformação inversa. A partir da projeção TM obtém-se a projeção UTM. Apresenta-se na sequência o formulário para a solução do problema direto, uma vez que é o problema de interesse neste trabalho.

### 3.3.1.1 Solução Para o Problema Direto

1) Cálculo das coordenadas ( $X_{TM}$ ,  $Y_{TM}$ ) na Projeção Transversa de Mercator (TM) (KRAKIWSKY, 1973, p. 58):

$$X_{TM} = B_m + \frac{N\Delta\lambda^2}{2} \sin \phi \cos \phi + \frac{N\Delta\lambda^4}{24} \sin \phi \cos^3 \phi (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{N\Delta\lambda^6}{720} \sin \phi \cos^5 \phi (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2 + 445\eta^4 + 324\eta^6 - 680\eta^4 t^2 + 88\eta^8 - 600\eta^6 t^2 - 192\eta^8 t^2) + \frac{N\Delta\lambda^8}{40320} \sin \phi \cos^7 \phi (1385 - 311t^2 + 543t^4 - t^6) \quad (44)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{MeridianoCentral} - \lambda_{PontoConsiderado} \quad (\text{em radianos}) \quad (45)$$

$$Y_{TM} = N\Delta\lambda \cos \phi + \frac{N\Delta\lambda^3}{6} \cos^3 \phi (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{N\Delta\lambda^5}{120} \cos^5 \phi (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2 + 13\eta^4 + 4\eta^6 - 64\eta^4 t^2 - 24\eta^6 t^2) + \frac{N\Delta\lambda^7}{5040} \cos^7 \phi (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \quad (46)$$

A quantidade  $B_m$  é o comprimento de arco de elipse meridiana contado a partir do Equador até o ponto de latitude  $\phi$ , e:

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \phi \quad (47)$$

$$t = tg(\phi) \quad (48)$$

$e'^2$  é o quadrado da segunda excentricidade do elipsóide de referência

$N$  é o raio de curvatura da seção 1º vertical

Segundo KRAKIWSKY (1973, p. 58), as expressões acima conduzem a valores de  $X_{TM}$  e  $Y_{TM}$  com precisão de 1 mm para pontos com afastamento de até 3º do meridiano central.

2) Cálculo do comprimento de arco de elipse meridiana ( $B_m$ )  
(KRAKIWSKY, 1973, p. 140):

$$B_m = a[A_0\phi - A_2 \sin(2\phi) + A_4 \sin(4\phi) - A_6 \sin(6\phi) + A_8 \sin(8\phi)] \quad (49)$$

$$A_0 = 1 - \frac{1}{4}e^2 - \frac{3}{64}e^4 - \frac{5}{256}e^6 - \frac{175}{16384}e^8 \quad (50)$$

$$A_2 = \frac{3}{8}\left(e^2 + \frac{1}{4}e^4 + \frac{15}{128}e^6 - \frac{455}{4096}e^8\right) \quad (51)$$

$$A_4 = \frac{15}{256}\left(e^4 + \frac{3}{4}e^6 - \frac{77}{128}e^8\right) \quad (52)$$

$$A_6 = \frac{35}{3072}\left(e^6 - \frac{41}{32}e^8\right) \quad (53)$$

$$A_8 = -\frac{315}{131072}e^8 \quad (54)$$

Onde:

$a$  é o semi-eixo maior do elipsóide de referência

$e^2$  é o quadrado da primeira excentricidade do elipsóide de referência

Segundo KRAKIWSKY (1973, p. 140), a fórmula para o comprimento de arco de elipse meridiana fornece precisão melhor do que 1 mm.

3) Cálculo da distorção de escala ( $m$ ) em função das coordenadas geodésicas ( $\phi, \lambda$ ) (KRAKIWSKY, 1973, p. 61):

$$m = 1 + \frac{\Delta\lambda^2}{2}\cos^2\phi(1 + \eta^2) + \frac{\Delta\lambda^4}{24}\cos^4\phi(5 - 4\eta^2) \quad (55)$$

Segundo KRAKIWSKY (1973, p. 61), esta expressão fornece o valor da

distorção de escala para um ponto com erro de uma ou duas unidades no oitavo dígito significativo.

4) Cálculo da convergência meridiana ( $\gamma$ ) em função das coordenadas geodésicas ( $\phi, \lambda$ ) (KRAKIWSKY, 1973, p. 59):

$$\gamma = \Delta\lambda \sin\phi \left[ 1 + \frac{\Delta\lambda^2 \cos^2\phi}{3(\rho'')^2} (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) + \frac{\Delta\lambda^4 \cos^4\phi}{15(\rho'')^4} (2 - \eta^2) \right] \quad (56)$$

Com:

$$\rho'' = \sec(1'') \quad (57)$$

A expressão (56) fornece o valor da convergência meridiana em radianos, segundo KRAKIWSKY (1973, p. 59) esta expressão conduz a valores de convergência meridiana com precisão de 0,01'' para pontos com afastamento de até 3° do meridiano central.

As coordenadas da projeção TM formam um sistema que contém tanto valores positivos quanto negativos. As coordenadas na projeção UTM são obtidas a partir das coordenadas na projeção TM e para que todos os valores sejam positivos é feita uma translação na origem, ou seja, um “falso este” (igual a 500 000 m) deve ser adicionado às coordenadas  $Y$ , para pontos situados no Hemisfério Sul um “falso norte” (igual a 10 000 000 m) deve ser somado às coordenadas  $X$  (BLACHUT, et al., 1979, p. 25). De acordo com KRAKIWSKY (1973) as coordenadas UTM ( $N, E$ ) estão relacionadas às coordenadas TM ( $X_{TM}, Y_{TM}$ ) através das seguintes equações:

$$\text{Norte} = N = X_{TM} * 0,9996 + 10.000.000m \quad (\text{para pontos do Hemisfério Sul}) \quad (58)$$



$$\text{Norte} = N = X_{TM} * 0,9996 \quad (\text{para pontos do Hemisfério Norte}) \quad (59)$$

$$\text{Este} = E = Y_{TM} * 0,9996 + 500.000m \quad (60)$$

A distorção de escala ( $m$ ) na Projeção UTM é dada por:

$$m_{UTM} = m_{TM} * 0,9996 \quad (61)$$

A convergência meridiana ( $\gamma$ ) para ambas as projeções cartográficas é a mesma:

$$\gamma_{UTM} = \gamma_{TM} \quad (62)$$

## 4 ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À EVOLUÇÃO DO SGB E ADOÇÃO DO SIRGAS

A adoção do SIRGAS não virá a alterar a articulação do mapeamento sistemático, uma vez que as coordenadas dos cantos das folhas tem caráter puramente geométrico. Porém, os elementos internos deverão sofrer algum tipo de adequação devido à mudança em sua coordenada geodésica e devido à alteração dos parâmetros do elipsóide de referência. Estes dois fatores alteram também as coordenadas UTM dos elementos mapeados. Para o caso do mapeamento sistemático nacional existe a proposta de se realizar uma translação de *grid*, mas é necessário avaliar a viabilidade da translação de *grid* com relação à escala da carta considerando, por exemplo, o erro inerente à construção da carta e a qual SGR a carta está referenciada. Além disso, para que a translação de *grid* gere um produto que possa ser utilizado como que referenciado em SIRGAS, é necessário reavaliar os parâmetros de transformação entre diferentes SGRs em uso atualmente, ou reavaliar a metodologia de transformação entre os diferentes SGRs na tentativa de melhor modelar as distorções ou a não homogeneidade da rede. A adequação dos mapas já gerados ao SIRGAS reflete-se como uma necessidade, uma vez que a elaboração de um novo mapeamento para o Brasil requer grandes investimentos de tempo e recursos financeiros que não estão disponíveis.

### 4.1 A PROPOSTA DA TRANSLAÇÃO DE *GRID*

A proposta da translação de *grid* foi apresentada pelo IBGE durante o Seminário para discussão da Adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil, realizado no Rio de Janeiro em outubro de 2000. De acordo com o IBGE (2000, p. 25-27), podem ser exploradas três formas de combinar mapas em diferentes referenciais durante o processo de transição para o referencial geocêntrico, sendo elas:

- a) introdução de uma quadrícula adicional que mostre a posição dos

meridianos e paralelos calculados em SIRGAS;

- b) introdução somente das marcas nos cruzamentos das quadrículas, calculadas em SIRGAS,
- c) adicionar na legenda dos mapas existentes um carimbo contendo informações referentes aos diversos casos que possam ocorrer.

Considerando os mapas gerados com base nos diferentes referenciais os diversos casos que podem existir durante o processo de transição para o referencial geocêntrico são:

a) CASO 1 – Documento cartográfico analógico sem versão digital:

Se não houver impacto significativo com relação à escala da carta, deve-se fornecer um carimbo informando que o documento, para fins práticos, pode ser assumido como SIRGAS. O carimbo deve conter o semi-eixo maior e o achatamento do sistema SIRGAS.

Se houver impacto significativo com relação a escala da carta, deve-se fornecer um *overlay* do novo sistema e um carimbo que informe a necessidade de utilização deste novo sistema, bem como suas características, ou então, um carimbo que forneça os deslocamentos das coordenadas. Por exemplo:

<p style="text-align: center;"><b>INFORMAÇÃO IMPORTANTE</b></p> <p style="text-align: center;">Este mapa foi produzido em Datum Sul Americano 1969 (ou Córrego Alegre), que será substituído pelo Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS). As altitudes permanecem referidas ao Datum Vertical de Imbituba.</p> <p style="text-align: center;"><b>DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS PARA CONVERSÃO DE SAD 69 (ou Córrego Alegre) PARA SIRGAS</b></p> <p style="text-align: center;">Subtração na latitude de XX,XX segundos Subtração na longitude de XX,XX segundos Adição na coordenada Norte de XX,XX metros Adição na coordenada Este de XX,XX metros</p> <p style="text-align: center;">Para a maioria das aplicações práticas, as coordenadas referidas ao SIRGAS e as derivadas de GPS, baseadas no WGS 84, podem ser consideradas as mesmas.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

b) CASO 2 – Documento cartográfico produzido em ambiente digital e convertido para o novo sistema geocêntrico:

Neste caso deve-se incluir um carimbo da seguinte forma:

<p style="text-align: center;"><b>INFORMAÇÃO IMPORTANTE</b></p> <p>Este documento foi convertido do Sistema de Referência SAD 69 (ou Córrego Alegre) para o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS).</p> <p style="text-align: center;">Parâmetros de conversão ou transformação:</p> <p style="text-align: center;"><math>\Delta X =</math>  <math>\Delta Y =</math>  <math>\Delta Z =</math></p> <p style="text-align: center;">Características dos Elipsóides:</p> <p style="text-align: center;">SAD 69: <math>a =</math>  <math>1/f =</math>          GRS 80: <math>a =</math>  <math>1/f =</math></p> <p style="text-align: center;">As altitudes são referidas ao Datum Vertical de Imbituba.</p> <p>Para a maioria dos propósitos práticos, as coordenadas SIRGAS e as derivadas de GPS, baseadas no WGS 84, podem ser consideradas as mesmas.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

c) CASO 3 – Documento cartográfico analógico com versão digital:

Se o documento for fornecido em meio digital, efetivar a conversão e incluir um carimbo como no caso 2. Se o documento for fornecido em meio analógico, plotar a carta com o canevas do novo referencial.

<p style="text-align: center;"><b>INFORMAÇÃO IMPORTANTE</b></p> <p>Este documento foi convertido do Sistema de Referência SAD 69 (ou Córrego Alegre) para o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS).</p> <p style="text-align: center;">Parâmetros de conversão ou transformação:</p> <p style="text-align: center;"><math>\Delta X =</math>  <math>\Delta Y =</math>  <math>\Delta Z =</math></p> <p style="text-align: center;">Características dos Elipsóides:</p> <p style="text-align: center;">SAD 69: <math>a =</math>  <math>1/f =</math>          GRS 80: <math>a =</math>  <math>1/f =</math></p> <p style="text-align: center;">As altitudes são referidas ao Datum Vertical de Imbituba.</p> <p style="text-align: center;">O canevas/reticulado do Sistema de Projeção UTM está referenciado ao Sistema SIRGAS.</p> <p>Para a maioria dos propósitos práticos, as coordenadas SIRGAS e as derivadas de GPS, baseadas no WGS 84, podem ser consideradas as mesmas.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

d) CASO 4 – Documento produzido com base na nova realização do SAD 69 (SAD 69 – realização 1996):

Incluir um carimbo como se segue:

<p style="text-align: center;"><b>INFORMAÇÃO IMPORTANTE</b></p> <p>Este mapa foi produzido em Datum Sul Americano 1969 (SAD 69, realização 1996), que será substituído pelo Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS). As altitudes permanecem referidas ao Datum Vertical de Imituba.</p> <p><b>DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS PARA CONVERSÃO DE SAD 69 (realização 1996) PARA SIRGAS</b></p> <p style="text-align: center;">Subtração na latitude de XX,XX segundos Subtração na longitude de XX,XX segundos Adição na coordenada Norte de XX,XX metros Adição na coordenada Este de XX,XX metros</p> <p>Para a maioria das aplicações práticas, as coordenadas referidas ao SIRGAS e as derivadas de GPS, baseadas no WGS 84, podem ser consideradas as mesmas.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

e) CASO 5 – Documento produzido no novo Sistema de Referência Geocêntrico (SIRGAS):

Incluir na legenda dos mapas elaborados em SIRGAS a seguinte observação:

<p style="text-align: center;"><b>INFORMAÇÃO IMPORTANTE</b></p> <p>Este mapa foi produzido no Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS). As altitudes são referidas ao Datum Vertical de Imituba.</p> <p>Para a maioria das aplicações práticas, as coordenadas referidas ao SIRGAS e as derivadas de GPS, baseadas no WGS 84, podem ser consideradas as mesmas.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Uma recomendação importante é a de que todos os carimbos devem conter as características dos elipsóides referentes aos sistemas geodésicos envolvidos na construção da carta.

## 4.2 ASPECTOS RELACIONADOS À EVOLUÇÃO DO SGB

No Capítulo 2 foi apresentada uma breve revisão acerca da evolução do SGB, foram apresentadas as características do Sistema com Datum Córrego Alegre, do SAD 69 realização inicial e realização 1996 e a tendência de adoção do SIRGAS, bem

como os parâmetros de transformação oficiais entre os diferentes sistemas geodésicos. Esta evolução faz com que atualmente existam produtos baseados nos diferentes sistemas de referência e suas realizações. Nesse sentido são abordados, na sequência, alguns aspectos relacionados a esta evolução.

#### 4.2.1 Comparação Córrego Alegre – SAD 69 (Realização Inicial)

Foram realizados alguns testes visando analisar a validade dos parâmetros de transformação existentes entre Córrego Alegre e SAD 69 para diferentes estados brasileiros. Nesse sentido foram determinados parâmetros de transformação regionais para os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, São Paulo e Sergipe. Para cada estado foram selecionadas pequenas amostras de vértices cujas coordenadas em Córrego Alegre e em SAD 69 foram obtidas junto ao IBGE e encontram-se nos Anexos 1 e 2, respectivamente. Como eram fornecidas as altitudes ortométricas dos vértices, a ondulação geoidal foi determinada com o programa MAPGEO versão 2.0, elaborado no âmbito do convênio IBGE-EPUSP. Este programa interpola os valores da ondulação geoidal do mapa Geoidal do Brasil – versão 1992. As ondulações deste mapa possuem precisão absoluta de 3,0 m e precisão relativa de 1,0 cm/km (IBGE, 1996, p. 34). Os valores determinados encontram-se no Anexo 2.

Para cada estado foram realizados dois testes. O primeiro teste consistiu na determinação de sete parâmetros: três translações ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ), três rotações ( $\varepsilon_X$ ,  $\varepsilon_Y$ ,  $\varepsilon_Z$ ) e um fator de escala ( $\delta$ ). Esta transformação é conhecida como transformação conforme, isogonal, de similaridade ou de Helmert (LUGNANI, 1987, p. 102). No espaço, o modelo matemático matricial da transformação conforme é dado por:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \delta R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (63)$$

Onde  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ ,  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  são as coordenadas cartesianas dos vértices nos dois referenciais envolvidos na transformação,  $\delta$  é o fator de escala e  $R$  é uma matriz de rotação ortogonal obtida a partir da aplicação sequencial de três rotações (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p.38; LUGNANI, 1987, p.47):

$$R = R_1(\varepsilon_X)R_2(\varepsilon_Y)R_3(\varepsilon_Z) \quad (64)$$

Onde  $R_i$  ( $i=1,2,3$ ) são as matrizes de rotação para cada um dos eixos (GEMAEL, 1981, p. 1.6; VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p.38; LUGNANI, 1987, p.47):

$R_3(\varepsilon_Z)$  é a matriz de rotação em torno do eixo  $Z$ :

$$R_3(\varepsilon_Z) = \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon_Z) & \sin(\varepsilon_Z) & 0 \\ -\sin(\varepsilon_Z) & \cos(\varepsilon_Z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (65)$$

$R_2(\varepsilon_Y)$  é a matriz de rotação em torno do eixo  $Y$ :

$$R_2(\varepsilon_Y) = \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon_Y) & 0 & -\sin(\varepsilon_Y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\varepsilon_Y) & 0 & \cos(\varepsilon_Y) \end{bmatrix} \quad (66)$$

$R_1(\varepsilon_X)$  é a matriz de rotação em torno do eixo  $X$ :

$$R_1(\varepsilon_X) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varepsilon_X) & \sin(\varepsilon_X) \\ 0 & -\sin(\varepsilon_X) & \cos(\varepsilon_X) \end{bmatrix} \quad (67)$$

Considerando as equações (65), (66) e (67), pode-se reescrever a (64) da seguinte forma:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_Y \sin \varepsilon_Z & -\sin \varepsilon_Y \\ \sin \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z - \cos \varepsilon_X \sin \varepsilon_Z & \sin \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \sin \varepsilon_Z + \cos \varepsilon_X \cos \varepsilon_Z & \sin \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \\ \cos \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_Z + \sin \varepsilon_X \sin \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_X \sin \varepsilon_Y \sin \varepsilon_Z - \sin \varepsilon_X \cos \varepsilon_Z & \cos \varepsilon_X \cos \varepsilon_Y \end{bmatrix} \quad (68)$$

Como em Geodésia as rotações são pequenas, a equação (68) pode ser simplificada da seguinte maneira:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix}, \quad (69)$$

onde as rotações  $\varepsilon_X$ ,  $\varepsilon_Y$  e  $\varepsilon_Z$  são dadas em radianos.

Na transformação conforme no espaço existem sete parâmetros a determinar:  $\delta$ ,  $\varepsilon_X$ ,  $\varepsilon_Y$ ,  $\varepsilon_Z$ ,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ , sendo necessários no mínimo três pontos com coordenadas conhecidas em ambos os sistemas. Cada ponto comum aos dois sistemas propicia um conjunto de três equações e dados três ou mais pontos, os sete parâmetros da transformação são estimados pelo método dos mínimos quadrados (LUGNANI, 1987, p.50). O processo de estimação utilizado foi o método paramétrico cuja formulação pode ser vista com detalhes em GEMAEL (1994).

O segundo teste consistiu na determinação de três translações ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ), obtidas através da média aritmética das diferenças das coordenadas cartesianas entre os dois referenciais:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i_{SAD69}} - X_{i_{CÓRREGO}} \quad (70)$$

$$\Delta Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i_{SAD69}} - Y_{i_{CÓRREGO}} \quad (71)$$

$$\Delta Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{i_{SAD69}} - Z_{i_{CÓRREGO}} \quad (72)$$



Onde  $X_{SAD69}$ ,  $Y_{SAD69}$ ,  $Z_{SAD69}$ ,  $X_{CÓRREGO}$ ,  $Y_{CÓRREGO}$  e  $Z_{CÓRREGO}$  são as coordenadas cartesianas tridimensionais dos vértices em SAD 69 e em Córrego Alegre, respectivamente. As coordenadas cartesianas são calculadas a partir das coordenadas geodésicas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) com as equações (6), (7) e (8), apresentadas no item 2.1.2. E  $n$  é o número de vértices para cada estado.

Para a transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas cartesianas e para a determinação dos parâmetros de transformação foram desenvolvidas rotinas no *software* MatLab, versão 5.3. A Tabela 13 mostra os resultados dos testes com sete e três parâmetros para cada estado.

TABELA 13 – PARÂMETROS REGIONAIS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE – SAD 69

continua				
ESTADO	ALAGOAS		BAHIA	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-167,479	3,651	-162,133	9,291
$\Delta Y$ (m)	124,104	3,879	134,007	10,960
$\Delta Z$ (m)	3,653	8,304	6,525	6,418
$\varepsilon_X$ (arcsec)	1,092	0,187	0,574	0,213
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,349	0,227	0,587	0,196
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-1,867	0,124	-1,399	0,419
$\delta$	0,9999969712	$0,543 \times 10^{-6}$	0,9999973370	$0,889 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-147,195	0,653	-144,356	1,204
$\Delta Y$ (m)	175,725	0,286	173,706	0,752
$\Delta Z$ (m)	35,174	0,258	34,703	1,211
ESTADO	CEARÁ		ESPÍRITO SANTO	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-173,149	1,942	-77,098	5,236
$\Delta Y$ (m)	144,663	2,111	64,148	6,968
$\Delta Z$ (m)	4,263	1,770	-22,592	15,740
$\varepsilon_X$ (arcsec)	0,782	0,048	-0,281	0,382
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,615	0,054	0,741	0,407
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-1,356	0,082	-0,988	0,164
$\delta$	0,999996516	$0,208 \times 10^{-6}$	0,9999794752	$0,694 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-147,041	0,550	-143,798	0,982
$\Delta Y$ (m)	176,545	0,511	169,116	0,648
$\Delta X$ (m)	34,335	0,212	33,084	0,350

continua

ESTADO	MATO GROSSO		MINAS GERAIS	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-93,758	22,022	-180,255	5,603
$\Delta Y$ (m)	130,013	12,194	178,922	6,126
$\Delta Z$ (m)	-10,018	59,548	27,515	9,656
$\varepsilon_X$ (arcsec)	1,088	1,605	0,659	0,264
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	-0,157	1,293	0,179	0,254
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	0,218	0,361	-0,815	0,188
$\delta$	0,9999889754	$0,663 \times 10^{-6}$	1,0000047715	$0,791 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-138,815	1,978	-141,328	1,054
$\Delta Y$ (m)	168,453	2,078	169,220	2,168
$\Delta X$ (m)	37,309	0,542	34,430	1,011
ESTADO	PARAÍBA		PARANÁ	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-173,999	2,554	-133,322	56,711
$\Delta Y$ (m)	130,108	2,615	165,799	32,654
$\Delta Z$ (m)	1,083	9,255	21,644	34,052
$\varepsilon_X$ (arcsec)	0,709	0,191	3,702	0,657
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,770	0,245	-4,017	1,368
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-1,729	0,081	-1,889	1,841
$\delta$	0,9999982919	$0,380 \times 10^{-6}$	0,9999984555	$2,756 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-148,455	1,063	-147,455	1,913
$\Delta Y$ (m)	176,667	0,548	160,455	1,350
$\Delta X$ (m)	34,318	0,127	35,293	0,982
ESTADO	PERNAMBUCO		PIAUI	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-177,963	2,123	-165,058	4,913
$\Delta Y$ (m)	140,215	2,592	141,394	5,423
$\Delta Z$ (m)	15,264	10,601	3,254	1,175
$\varepsilon_X$ (arcsec)	0,486	0,224	0,815	0,023
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,431	0,272	0,619	0,045
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-1,555	0,071	-1,262	0,234
$\delta$	1,0000000267	$0,313 \times 10^{-6}$	0,9999983475	$0,109 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-146,502	1,431	-145,323	0,414
$\Delta Y$ (m)	175,313	1,229	174,844	0,841
$\Delta X$ (m)	34,787	0,238	35,185	0,248
ESTADO	RIO GRANDE DO NORTE		RIO DE JANEIRO	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-176,021	3,176		
$\Delta Y$ (m)	131,641	3,526		
$\Delta Z$ (m)	3,945	3,802		
$\varepsilon_X$ (arcsec)	1,183	0,103		
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,303	0,111		
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-1,780	0,125		
$\delta$	0,9999987475	$0,425 \times 10^{-6}$		
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-148,485	0,406	-139,208	0,123
$\Delta Y$ (m)	176,491	0,360	170,867	0,538
$\Delta X$ (m)	34,088	0,223	33,566	0,563

ESTADO	SÃO PAULO		SERGIPE	
7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-187,781	19,459	-207,013	42,445
$\Delta Y$ (m)	214,072	13,709	160,953	56,378
$\Delta Z$ (m)	53,926	31,303	15,552	30,541
$\varepsilon_X$ (arcsec)	0,986	0,797	0,904	1,013
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	-0,842	0,849	0,397	0,822
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-0,629	0,513	-1,669	2,117
$\delta$	1,0000107853	$2,019 \times 10^{-6}$	1,0000055962	$3,667 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS				
$\Delta X$ (m)	-141,994	1,817	-146,005	0,090
$\Delta Y$ (m)	166,697	2,821	174,588	0,677
$\Delta Z$ (m)	33,346	3,022	35,366	0,530

Analisando a Tabela 13 verifica-se que o teste realizado com sete parâmetros fornece desvios padrão maiores do que o teste com três parâmetros. As translações fornecidas pelo modelo de similaridade são diferentes de estado para estado e diferentes dos parâmetros oficiais, isto indica uma alta correlação entre as rotações e as translações. Outra observação importante é a de que em alguns casos o desvio padrão do parâmetro possui valor maior que o próprio parâmetro. Apenas o estado do Rio de Janeiro não participou da determinação dos parâmetros através do modelo de similaridade, pois a quantidade de vértices escolhidos foi insuficiente para realizar o ajustamento.

O teste com três parâmetros forneceu desvios padrão menores, porém os resíduos de forma geral são mais altos do que os fornecidos pelo modelo de similaridade. Os resíduos fornecidos pelo ajustamento encontram-se no Apêndice 1. Verificou-se também neste teste que os parâmetros encontrados para cada estado diferem entre si e diferem dos parâmetros de transformação oficiais entre Córrego Alegre e SAD 69, divulgados pelo IBGE e iguais a: translação em  $X = -138,70$  m, translação em  $Y = 164,40$  m e translação em  $Z = 34,40$  m. Porém aproximam-se mais dos oficiais quando comparados com os parâmetros obtidos através do modelo de similaridade.

A Tabela 14 mostra os resultados dos dois testes considerando os vértices de todos os estados conjuntamente.

TABELA 14 – PARÂMETROS DA TRANSFORMAÇÃO CÓRREGO ALEGRE – SAD 69

7 PARÂMETROS	VALORES	DESVIO PADRÃO
$\Delta X$ (m)	-161,231	1,695
$\Delta Y$ (m)	162,301	2,263
$\Delta Z$ (m)	11,247	1,822
$\varepsilon_X$ (arcsec)	0,732	0,059
$\varepsilon_Y$ (arcsec)	0,398	0,041
$\varepsilon_Z$ (arcsec)	-0,689	0,083
$\delta$	1,0000000624	$0,159 \times 10^{-6}$
3 PARÂMETROS		
$\Delta X$ (m)	-144,477	2,912
$\Delta Y$ (m)	172,241	4,307
$\Delta X$ (m)	34,550	1,505

Analizando a Tabela 14, que mostra os resultados do ajustamento considerando todos os vértices durante o cálculo, verifica-se que o teste realizado com sete parâmetros fornece desvios padrão menores do que o teste com três parâmetros. Porém, as translações fornecidas pelo modelo de similaridade são muito diferentes dos parâmetros oficiais. O segundo teste forneceu desvios padrão maiores para os parâmetros e os resíduos, de forma geral, são mais altos do que os fornecidos pelo modelo de similaridade. Os parâmetros de transformação encontrados em ambos os testes diferem dos parâmetros de transformação oficiais entre Córrego Alegre e SAD 69. Mas os obtidos com o teste de três parâmetros aproximam-se mais dos oficiais do que os parâmetros obtidos através do modelo de similaridade.

Considerando apenas os resultados fornecidos pelo segundo teste (teste com três parâmetros), apresentados na Tabela 14, e comparando-os com os parâmetros oficiais, observa-se uma diferença de aproximadamente 10 m entre eles. A diferença de 10 m é significativa para as escalas maiores do que 1:50 000. Com isso, os parâmetros oficiais de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69 (realização inicial) podem ser utilizados para a integração Córrego Alegre – SAD 69, considerando as escalas menores do que 1:100 000, sem maiores prejuízos e sem trazer

problemas sensíveis aos usuários. Porém devem ser reavaliados para a integração das cartas em escalas maiores do que 1:50 000. Realizando a mesma comparação entre os parâmetros determinados para cada estado, apresentados na Tabela 13, e os parâmetros oficiais, observa-se uma diferença de aproximadamente 14 m para o estado de Alagoas, 11 m para a Bahia, 15 m para o Ceará, 7 m para o Espírito Santo, 5 m para o Mato Grosso, 5 m para Minas Gerais, 16 m para a Paraíba, 10 m para o Paraná, 13 m para Pernambuco, 12 m para Piauí, 15 m para o Rio Grande do Norte, 7 m para o Rio de Janeiro, 4 m para São Paulo e 12 m para Sergipe.

As diferenças encontradas entre os parâmetros calculados para cada estado evidenciam a não homogeneidade da rede e indicam que os parâmetros existentes não conseguem modelar de forma eficaz a total variação das coordenadas, em diferentes regiões do país, para o caso da transformação Córrego Alegre – SAD 69. Apesar dos resultados basearem-se numa pequena amostra de vértices para cada estado, evidenciam a necessidade do estabelecimento de parâmetros mais confiáveis e/ou da adoção de uma metodologia de transformação que considere a não homogeneidade da rede.

A precisão das bases no Sistema Córrego Alegre situa-se no intervalo de 1:50 000 a 1:100 000 (FREITAS, 2001, não paginado), mas um aspecto de extrema importância é de que os parâmetros de transformação oficiais, entre Córrego Alegre e SAD 69, não vêm acompanhados de uma avaliação de sua precisão, assim como as coordenadas baseadas no Sistema Córrego Alegre. Estes aspectos dificultam o conhecimento acerca da qualidade das coordenadas e também a avaliação da implicação nos produtos cartográficos. Além disso, a recuperação das informações a partir dos produtos cartográficos torna-se duvidosa pela falta de conhecimento da qualidade do sistema.

A maior parte da cartografia sistemática existente está apoiada no Sistema Córrego Alegre e é utilizada como base cartográfica para uma série de produtos no Brasil. Estes mapas, além de desatualizados, estão vinculados a um referencial do qual não se tem controle das deformações. Os parâmetros de transformação obtidos são indicativos desses problemas. Na realidade, as variações regionais desses parâmetros, os desvios elevados e as discrepâncias em relação aos parâmetros oficiais, são indicativos da inviabilidade de aproveitamento de produtos em Córrego Alegre para integração em SIRGAS, ainda sem considerar as distorções de SAD 69 para SAD 69 (realização 1996), a qual é tratada na próxima seção.

#### 4.2.2 Comparação SAD 69 (Realização Inicial) – SAD 69 (Realização 1996)

No capítulo 2 verificou-se que a variação das coordenadas entre o SAD 69 (realização inicial) e o SAD 69 (realização 1996), para o caso da rede clássica, assume amplitudes sistemáticas em relação ao Datum Chuá. No estado do Paraná estas diferenças (de acordo com a Figura 4) são de aproximadamente 10 m e são significativas para as escalas maiores ou iguais a 1:50 000. Já a variação das coordenadas para a Rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná não apresenta caráter sistemático em todo o estado. A menor variação foi de 3,31 cm na estação Querência do Norte e a maior variação foi de 261,61 cm na estação Clevelândia. A variação na coordenada do vértice em Querência do Norte não é significativa para a Cartografia, porém a variação na coordenada do vértice Clevelândia é significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:10 000, conforme mostra a Tabela 15.

TABELA 15 – EFEITO DA VARIAÇÃO NA COORDENADA DO VÉRTICE CLEVELÂNDIA

ESCALA DA CARTA	EFEITO REFERENTE À VARIAÇÃO DE 2,616 m
1:50 000	0,05 mm
1:25 000	0,10 mm
1:10 000	0,26 mm
1:5 000	0,52 mm
1:2 000	1,31 mm
1:1 000	2,62 mm

Um dos problemas que surgiram após o reajustamento da Rede Geodésica Brasileira foi a implantação (por parte da comunidade usuária e de instituições e empresas voltadas à produção cartográfica) de novas redes GPS e de redes para o apoio a Cartografia, a partir de pontos da rede GPS do Estado e a partir de pontos da rede clássica. Além disso, estas novas redes são vinculadas ora à antiga, ora à nova realização do SAD 69. Em vista desta situação é justificada a preocupação no sentido de caracterizar cada uma das redes e produtos derivados, principalmente pela falta de conhecimento dos usuários relativamente às transformações ocorridas. A caracterização dos produtos derivados possibilitaria respostas às questões: a) A que rede e a que realização do SAD 69 o produto está vinculado? b) Qual a precisão esperada para a base geodésica do produto? Entre outras. Além disso, a caracterização é de extrema importância no contexto da transição para um referencial geocêntrico, uma vez que as variações entre as duas realizações do SAD 69 são significativas para determinadas escalas em função da rede de referência empregada (rede clássica ou rede GPS).

A Figura 4, apresentada no item 2.3.3, fornece uma visão geral da variação das coordenadas horizontais da RGB SAD 69 (1996) relativamente ao SAD 69. Apresenta-se na sequência a Tabela 16 que mostra a diferença das coordenadas UTM (Norte e Este) entre as duas realizações do SAD 69 para uma pequena amostra de vértices ajustados pelo IBGE, bem como o vetor horizontal resultante da diferença destas coordenadas. Os vértices estão agrupados segundo o estado ao qual pertencem. Esta tabela apresenta vértices nos estados da Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. As coordenadas UTM dos vértices referentes à realização inicial e à realização 1996 do SAD 69, encontram-se nos Anexos 2 e 3, respectivamente.

TABELA 16 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS UTM (NORTE E ESTE) E VETOR HORIZONTAL RESULTANTE – VÉRTICES AJUSTADOS PELO IBGE

continua

DESCRIÇÃO		VARIAÇÃO NAS COORDENADAS UTM		VETOR HORIZ. RESULTANTE
ESTADO	VÉRTICE	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	r (m)
ESPÍRITO SANTO	Coqueiral	3,263	-1,180	3,469
	Pedra Lajinha	3,901	-1,899	4,339
	Serra Valentim	3,850	-2,177	4,423
	Cavalo	3,568	-1,280	3,790
	Boa Vista	3,792	-1,758	4,179
	Quitiba	3,238	-1,129	3,430
MINAS GERAIS	Fortaleza	3,901	-2,294	4,525
	São Joaquim	3,963	-2,352	4,608
	Canadá	3,797	-2,126	4,351
	Três Irmãos	0,002	-1,939	1,939
	Córrego Pedra	2,276	-3,043	3,800
	Córrego Paty	3,282	-2,642	4,214
	Segredo	1,536	-0,341	1,573
	Pedemeiras	0,826	-0,172	0,844
	Uberaba ME	-0,005	-0,081	0,081
	Cabeça da Onça	0,741	1,059	1,292
	Rocha Negra	2,954	-0,143	2,957
	Olinto	0,638	-0,098	0,646
	Fazenda Paraíso	3,568	-0,028	3,568
	Palmeira	3,543	-1,918	4,029
	Criminoso	3,367	-0,216	3,374
BAHIA	Buracão	0,994	0,477	1,102
	Sêco	-1,751	-3,869	4,247
	São Roque	-1,139	-2,463	2,714
	São Pedro	0,330	-2,436	2,458
SÃO PAULO	Chapada dos Macacos	-0,663	-2,177	2,276
	Boa Vista	5,122	-0,435	5,140
	Santa Maria I	4,369	-0,464	4,394
	Olhos D'Água	5,339	-0,242	5,345
	Ribeiro	3,250	-0,863	3,363
	Jambeiro	4,170	-0,481	4,198
	Jaraguá	4,786	-0,741	4,843
	Casa da Pedra	4,311	-1,965	4,738
	Capuavinha	5,196	-3,135	6,068
	São Francisco	3,701	-0,211	3,707
	Alto Alegre	5,002	-0,944	5,091
	Brasilândia	5,085	-0,260	5,092
	Santo Anastácio	5,184	0,858	5,255
	Vertentes	1,656	-0,079	1,658
	São João	2,284	0,815	2,425
	Sta. Adelina	6,490	-0,970	6,562
	P. Machado	2,362	0,244	2,375
RIO DE JANEIRO	Mirante	3,869	0,191	3,873
	Formoso	2,576	-0,930	2,738
PARANÁ	Bela Vista do Paraíso	6,937	-0,566	6,960
	Califórnia	7,728	-0,713	7,761
	Tigre	8,165	-1,005	8,226
	Igreja Velha	8,227	-0,799	8,266



DESCRIÇÃO		VARIAÇÃO NAS COORDENADAS UTM		conclusão VETOR HORIZ. RESULTANTE
ESTADO	VÉRTICE	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	r (m)
MATO GROSSO	Ruim	2,074	1,827	2,764
	Cambaúva	2,212	2,320	3,206
	Cervo	3,298	2,412	4,086
	Campo Verde	3,504	1,962	4,016
	Juvêncio	2,930	4,341	5,238
	Conselho	1,733	6,264	6,499

A Tabela 17 mostra a diferença das coordenadas UTM (Norte e Este) entre as duas realizações do SAD 69 para uma amostra de vértices ajustados pelo *U.S. Army Map Service*, bem como o vetor horizontal resultante da diferença destas coordenadas. A tabela apresenta vértices dos estados da Bahia, Sergipe, Pernambuco, Alagoas, Piauí, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. A amostra utilizada no cálculo das diferenças de coordenadas UTM, apresentadas nas tabelas 16 e 17, é a mesma utilizada na determinação dos parâmetros de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69.

TABELA 17 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS UTM (NORTE E ESTE) E VETOR RESULTANTE – VÉRTICES AJUSTADOS PELO *U.S. ARMY MAP SERVICE*

DESCRIÇÃO		VARIAÇÃO NAS COORDENADAS UTM		continua VETOR RESULTANTE
ESTADO	VÉRTICE	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	r (m)
BAHIA	Uma Vida	-1,660	-4,013	4,343
	So. Tanquinho	-1,658	-3,846	4,189
	Caatinga	-0,013	-4,148	4,148
	Canifista	-1,511	-3,360	3,684
	Pedras Altas	-1,775	-3,371	3,810
	Morro da Bananeira	0,928	-3,884	3,993
	São João	0,906	-4,070	4,170
	Candeias	1,171	-4,113	4,276
	Itiúba	-2,218	-2,927	3,673
	Recreio	-0,750	-4,655	4,715
	Coite	-2,530	-2,776	3,756
	Serrote	-1,054	-4,536	4,657
	Melancia	-2,195	-2,491	3,321
	Serra do Sobrado	-1,897	-3,075	3,614
	Corundundum	-2,330	-3,378	4,104
	Esplanada	-0,220	-5,237	5,242
	Saco da Barriguda	-2,196	-3,736	4,334
	Sobrado	-2,601	-2,843	3,854
	Taboleiro	-2,172	-3,456	4,083

continua

DESCRIÇÃO		VARIAÇÃO NAS COORDENADAS		VETOR
		UTM		RESULTANTE
ESTADO	VÉRTICE	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	r (m)
SERGIPE	Papagaio	-1,150	-4,656	4,796
	Meio	-2,284	-3,881	4,503
	Merem	-2,575	-4,547	5,226
PERNAMBUCO	Riacho	-2,468	-2,810	3,740
	Morro da Lagoa	-2,338	-3,317	4,058
	Comprida			
	Cainana	-2,282	-3,343	4,048
	Pelado	-2,647	-4,426	5,157
	Farsola	-3,129	-3,970	5,055
	Mata Verde	-3,196	-4,061	5,168
	Macambira	-2,819	-4,739	5,514
	Serra Verde	-2,802	-3,830	4,746
	Seixo	-3,367	-3,823	5,095
	Guariba	-2,493	-3,201	4,057
	Cidadão	-2,708	-3,186	4,181
ALAGOAS	Bugio	-2,793	-3,732	4,661
	Campo Alegre	-2,442	-3,669	4,407
	Jussara	-2,225	-3,257	3,945
PIAUÍ	Mafrense	-2,373	-3,223	4,003
	Topa	-2,375	-3,014	3,837
	Vaca Brava	-2,745	-2,879	3,978
	Santa Cruz	-3,264	-2,513	4,120
	Simões	-3,506	-2,978	4,599
	Duas Onças	-3,935	-2,511	4,667
	Valença	-4,344	-2,122	4,834
	Castello	-4,610	-2,083	5,058
	Miringiba	-4,694	-2,022	5,111
	Poti	-4,374	-1,594	4,656
	Pé do Morro	-3,875	-1,796	4,271
	Piripiri E.B.	-3,352	-1,656	3,739
	Caxinga	-3,277	-2,038	3,860
	Mutucas	-3,067	-2,220	3,786
CEARÁ	Pitombeira	-2,522	-4,686	5,322
	Pedra Grande	-2,363	-4,542	5,120
	Esconso	-2,314	-3,792	4,443
	Riacho	-2,626	-3,558	4,422
	Tapera	-3,275	-3,457	4,762
	Panelas	-4,084	-2,796	4,949
	Preaoca	-4,832	-2,860	5,615
	Fortaleza S. Base	-4,857	-2,665	5,540
	Gigante	-4,410	-2,131	4,898
	Pau D'Arco	-4,783	-1,423	4,990
	Judeu	-3,094	-1,859	3,610
	Chora	-3,415	-0,641	3,475
PARAÍBA	Olho D'Água	-2,682	-4,570	5,299
	Jabre	-3,508	-3,856	5,213
	Santo Antônio	-2,303	-2,598	3,472
	Roma	-2,124	-2,497	3,278
	Guariba II	-2,062	-2,374	3,145
	Fidele	-1,844	-2,662	3,238

DESCRIÇÃO		VARIAÇÃO NAS COORDENADAS UTM		conclusão VETOR RESULTANTE
ESTADO	VÉRTICE	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	r (m)
RIO GRANDE DO NORTE	Mãe Luzia	-3,273	-4,160	5,294
	Serra do Estreito	-3,222	-4,209	5,301
	Canto Escuro	-2,722	-4,322	5,108
	Açu	-2,703	-4,288	5,069
	Maracajá	-2,742	-4,627	5,378
	Bonfim	-2,353	-3,872	4,531
	Umari	-2,721	-4,615	5,357

Tendo em vista as variações existentes entre as duas realizações do SAD 69, indica-se que novas redes geodésicas locais ou regionais sejam estabelecidas com base na realização mais atual do SGB, a qual possui precisão conhecida. E finalmente, reforçando a idéia de que os produtos gerados com base em qualquer realização do SGB devem ter sua base de referência conhecida.

#### 4.3 ASPECTOS RELACIONADOS À ADOÇÃO DO SIRGAS

Salienta-se que a adoção de um referencial geocêntrico está sendo amplamente discutida, principalmente pelos Grupos de Trabalho envolvidos no processo de transição. Neste sentido, o GT-2 responsável pela definição do sistema geodésico de referência promoveu um encontro na Unesp em Presidente Prudente, no período de 16 a 19 de julho de 2001, com o objetivo principal de definir o referencial geocêntrico a ser adotado pelo Brasil em substituição ao sistema SAD 69. Segundo o documento PROTOCOLO DE PRESIDENTE PRUDENTE, cujo objetivo é divulgar o contexto técnico discutido no encontro, a proposta do GT-2 é adotar o Sistema SIRGAS visto que:

- atende aos mais diferentes tipos de aplicações, englobando usuários não especialistas e especialistas em Geodésia;
- é único em todo o território nacional e é compatível com os sistemas dito internacionais;
- permite que as coordenadas geodésicas sejam utilizadas de forma simples

e objetiva.

Considerando que para a Cartografia o WGS 84 pode ser considerado equivalente ao SIRGAS, o novo referencial proporciona aos usuários o emprego das coordenadas diretamente oriundas do rastreamento GPS, sem a necessidade de realização de qualquer tipo de transformações entre referenciais. Ainda encontra-se em discussão a época de referência do sistema, estando a decisão vinculada a estudos adicionais que estão em andamento.

A adoção de um novo referencial deve considerar todos os sistemas que coexistem no país, justificando as análises baseadas em Córrego Alegre e nas duas realizações do SAD 69. A transição do SAD 69 (realização 1996) para o SIRGAS é um processo mais simples uma vez que a rede foi reajustada simultaneamente, tendo caráter global e tendo o apoio de medidas GPS e uma vez que as distorções já são conhecidas. Porém a maior parte dos produtos cartográficos em SAD 69 está vinculada à antiga realização e no caso da cartografia sistemática a maior parte está referenciada a Córrego Alegre.

A possível adoção do SIRGAS no Brasil provocará a alteração nas coordenadas das estações do SGB, tornando necessária a integração dos referenciais existentes: Córrego Alegre, Astro datum Chuá e o SAD 69 (realização inicial e realização 1996) com o SIRGAS, além da necessidade de adequação dos produtos cartográficos existentes. A transformação dos documentos cartográficos para o meio digital permite uma transformação maciça dos dados, porém o processo de conversão dos mapas analógicos para o meio digital é demorado. Além disso, para que a transformação seja realizada com precisão e confiabilidade é necessário que existam parâmetros de transformação também precisos e confiáveis e que sejam conhecidas as distorções na rede. Nesse sentido, a integração entre a RGB e a Rede de Referência SIRGAS somente através de parâmetros de transformação pode não fornecer resultados satisfatórios para determinadas aplicações, uma vez que as deformações da

rede clássica têm caráter heterogêneo e localizado.

Os produtos obtidos a partir de Sensoriamento Remoto adquiriram alta resolução espacial como, por exemplo, os obtidos a partir de imagens IKONOS, que possuem uma resolução espacial de até 1 m. Os pontos da RGB e sua densificação, são utilizados como apoio para a geração dos produtos obtidos a partir de sensores orbitais. A falta de conhecimento com respeito às deformações da rede e a falta de parâmetros de transformação que atendam a esta precisão, fazem com que o produto gerado perca em qualidade.

Outra questão importante e que também deve ser discutida, aproveitando a discussão acerca da adoção de um novo referencial no país, é quanto ao grau de atualização das cartas. Muitas decisões (sociais, econômicas, culturais, políticas, etc.) são auxiliadas pela existência de mapeamento e por sua condição de atualização, algumas informações tais como data, escala, ano da última edição, etc., são de extrema importância para o planejamento de projetos. Como visto no Capítulo 3, as cartas analógicas foram produzidas nas décadas de 60, 70 e 80, com algumas exceções da década de 30. A DSG, no processo de conversão do mapeamento sistemático para o meio digital, vem atualizando suas cartas com o auxílio de imagens orbitais. O IBGE também vem convertendo as cartas do mapeamento sistemático para o meio digital, mas não está realizando a atualização.

Um outro aspecto importante é a falta de cobertura de algumas escalas do mapeamento sistemático em território nacional. As cartas em escala 1:50 000 cobrem cerca de 14% do território, enquanto que as cartas em escala 1:25 000 abrangem o Distrito Federal e parte do Estado de Goiás e das regiões Nordeste e Sul. Estes dados devem ser considerados quando da avaliação da relação custo/benefício entre:

- a) efetuar o mapeamento em SAD 69 e realizar a translação de *grid* visando adequar a carta ao sistema SIRGAS; e

b) realizar o mapeamento e gerar o produto diretamente em SIRGAS.

Quanto às cartas em Córrego Alegre, detectou-se através dos testes realizados que os parâmetros oficiais não atendem as escalas maiores do que 1:50 000. Uma das alternativas visando sua integração ao SIRGAS, seria a de gerar parâmetros de transformação locais (diretamente de Córrego Alegre para SIRGAS) que seriam aplicados aos produtos. O desvio obtido para os parâmetros é um indicativo das distorções existentes e possibilita a análise de aproveitamento dos produtos.

A quantidade de aplicações que requerem informações espaciais, traduzidas através de mapas, aliada ao fato das bases cartográficas analógicas estarem sendo transformadas para o meio digital, propiciando seu uso pelos Sistemas de Informação Geográfica e por sistemas auxiliados por computador, além de facilitarem o intercâmbio com outros aplicativos que manipulam a informação espacial, torna importante o conhecimento do padrão de qualidade posicional destas bases. Um padrão, para especificação da qualidade dos dados espaciais, determinado para o mapeamento em território nacional é o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelo Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 (LEAL, 1998, p. 2). Este decreto permite classificar as cartas em classes A, B ou C e indica que a classificação deverá constar no rodapé da carta. Isto permite que o usuário conheça a qualidade e as restrições do produto. No contexto da evolução do SGB e adoção de um referencial geocêntrico, quanto à viabilidade da translação de *grid*, deve ser considerado que se o erro inerente à construção da carta for maior que o deslocamento posicional da área mapeada não existe a necessidade da translação de *grid*, mas para que essa análise seja possível é necessário que a carta esteja classificada e que sejam conhecidos o sistema de referência e a materialização à qual a carta está referenciada.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas com o decorrer do trabalho. Também são apresentadas recomendações para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Apesar da pequena amostra de vértices utilizados, verificou-se a necessidade de reavaliar os parâmetros de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69, além de analisar uma metodologia de transformação que considere a não homogeneidade da rede.

Os testes indicaram que os parâmetros oficiais entre o Sistema Córrego Alegre e o Sistema SAD 69 podem ser utilizados, visando a integração Córrego Alegre – SAD 69, para as escalas menores do que 1:100 000 sem causar maiores prejuízos aos usuários. Mas devem ser reavaliados para a integração das cartas em escalas maiores do que 1:50 000.

Apesar de não existirem parâmetros de transformação entre as duas realizações do SAD 69, verifica-se que a alteração de aproximadamente 10 m nas coordenadas dos vértices da rede clássica (no estado do Paraná) é significativa para escalas maiores ou iguais a 1:50 000.

Considerando a variação das coordenadas entre as realizações do SAD 69 para a Rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná, verifica-se que a alteração não tem caráter sistemático em todo o estado. No caso da estação Clevelândia a variação é significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:10 000.

É importante caracterizar cada uma das redes e produtos derivados, pois as diferenças entre as realizações do SAD 69 são significativas para determinadas escalas em função da rede de referência empregada (rede clássica ou rede GPS).

Existe a necessidade de reavaliar os parâmetros de transformação entre os sistemas SAD 69 e WGS 84, uma vez que os mesmos foram determinados apenas no vértice Chuá e referem-se à realização inicial de ambos os sistemas. Esta avaliação é de extrema importância visto que para aplicações na Cartografia o WGS 84 pode ser considerado equivalente ao SIRGAS.

A transição do referencial atualmente utilizado no país SAD 69 (realização 1996) para um referencial geocêntrico (SIRGAS) provocará a alteração de todas as coordenadas que materializam o SGB, a alteração média no contexto nacional é de aproximadamente 65 m afetando as cartas em escala maior ou igual a 1:250 000.

Quanto à utilização dos dados cartográficos, até a pouco tempo realizava-se a análise visual dos mapas em papel, atualmente essa análise é baseada em um SIG ou em sistemas auxiliados por computador. O processamento e a representação digital dos dados cartográficos trouxe uma série de benefícios na forma de análises rápidas, precisas e sofisticadas, mas ao mesmo tempo revelou fraquezas que não eram perceptíveis de outra forma. Uma delas é o uso inadequado de sistemas de coordenadas por parte da comunidade usuária leiga que trabalha com dados baseados em sistemas de coordenadas de diferentes características e realizações sem maiores cuidados. O uso inadequado dos sistemas pode, por exemplo, acarretar em resultados inacurados e em decisões equivocadas.

Existindo a opção de adoção do SIRGAS como referencial oficial, é importante evidenciar a necessidade de que todas as instituições, produtores e usuários



de Geodésia e Cartografia optem pela adoção do novo referencial, procurando garantir a unicidade de suas informações e a integridade com o SGB.

Salienta-se a importância do desenvolvimento, apresentação e documentação de estudos referentes aos impactos provocados pela evolução do SGB bem como pela possível mudança de referencial no país, além da necessidade de geração de produtos que facilitem a transição.

Este trabalho apresenta apenas alguns dos aspectos relacionados à evolução do SGB e adoção de um novo referencial e que devem continuar em discussão na tentativa de analisar e gerar soluções aos problemas que surgem em decorrência das alterações no SGR do país.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

Tendo como base as análises e os resultados deste trabalho, recomenda-se:

- a) avaliar os parâmetros de transformação entre Córrego Alegre e SAD 69;
- b) desenvolver estudos no sentido de modelar as distorções existentes na rede horizontal,
- c) desenvolver aplicativos no sentido de facilitar o processo de transição.

O desenvolvimento de aplicativos deve levar em consideração as decisões tomadas pelos Grupos de Trabalhos envolvidos com a definição do SGR e com a conversão de referenciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKKER, M. P. R. de. **Cartografia: Noções Básicas**. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1965. 242 p.
- BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, J. H. **Urban Surveying and Mapping**. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1979. 372 p.
- CASTAÑEDA, R. M. **Ensaio para definição de parâmetros de transformação entre o SAD 69 e o NSWC 922**. Curitiba, 1986. 180 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- CORDINI, J; GARNÉS, S. J. A; MORAES, C. V.; NADAL, C. A. Transformações de Referenciais Geodésicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO,3.,1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998. 1 CD-ROM
- COSTA, M. F. **Uma Proposta para Compatibilização entre Referenciais Geodésicos**. Curitiba, 1999. 117 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- COSTA, S. M. A. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**. Curitiba, 1999. 157 p. Tese (Doutorado em Geociências). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- COSTA, S. M. A **Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro - Razões e Impactos com a Mudança de Referencial**. I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/geografia/seminar/seminário.html>> Acessado em 14 dez. 2000.
- FISCHER, I. **The Basic Framework of the South American Datum of 1969**. XII Pan American Consultation on Cartography. Panamá, 1973. 18 p.
- FORTES, L. P. S. **SIRGAS: O Sistema de Referência para o Novo Milênio**. I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/geografia/seminar/seminário.html>> Acessado em 14 dez. 2000.
- FREITAS, S. R. C. de; DALAZOANA, R. Implicações Cartográficas e Cadastrais das Diferentes Realizações do SAD 69 no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO,4.,2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2000. 1 CD-ROM
- FREITAS, S. R. C. de. Base Cartográfica e sua Importância no Geoprocessamento. Palestra apresentada no Curso de Geoprocessamento Aplicado em Avaliações e Perícias. In: 58ª SEMANA OFICIAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – 58ª SOEAA. 3 a 7 de novembro de 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, Paraná, 2001. no prelo.
- GEMAEL, C. **Referenciais Cartesianos Utilizados em Geodésia**. Curitiba, 1981. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
- GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.
- GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 304 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, Julho de 1996. 49 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul**. Relatório Final. Grupos de Trabalho I e II. Rio de Janeiro, 1997. 99 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Coletânea das Normas Vigentes. Rio de Janeiro, preprint 1998. 74 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil**. Documento preliminar – texto para discussão. Grupos de Trabalho I e II. Rio de Janeiro, Outubro de 2000. 30 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **A Nova Realização SIRGAS – SIRGAS 2000 – Grupo de Trabalho I e III**. Disponível em: <[http://www. ibge.gov.br/geografia/seminário/sirgas/realização2000.htm](http://www.ibge.gov.br/geografia/seminário/sirgas/realização2000.htm)> Acessado em 6 mar. 2001(a).

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento Topográfico**. Disponível em: <[http:// www.ibge.gov.br/disseminação/ produtoserviço/ catálogo/ documcartog/sumáriodocumentodecartografia.shtm](http://www.ibge.gov.br/disseminação/produtoserviço/catálogo/documcartog/sumáriodocumentodecartografia.shtm)> Acessado em 28 mar. 2001(b).

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Grupos de Trabalho e suas Atribuições**. Disponível em: <[http:// www. ibge. gov. br/ ibge/ geografia/ seminar/seminário.html](http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminar/seminário.html)> Acessado em 3 abr. 2001(c).

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistemas de Referência**. Disponível em: <[http:// www. ibge. gov. br/ ibge/ geografia/ geodésico/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/geodésico/default.shtm)> Acessado em 3 abr. 2001(d).

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Arquivo mapeamento sistematico.zip**. Disponível em: <[http:// www2. ibge. gov. br/ ibge/ ftp/ ftp.php?dir=/Cartas\\_e\\_Mapas/ Mapas\\_Tematicos](http://www2.ibge.gov.br/ibge/ftp/ftp.php?dir=/Cartas_e_Mapas/Mapas_Tematicos)> Acessado em 3 abr. 2001(e).

IGVSB. INSTITUTO GEOGRAFICO DE VENEZUELA SIMON BOLIVAR. **SIRGAS - Evolucion y Estado Actual em Venezuela**. In: IAG Symposium on Vertical Reference Systems, 20-23 de fevereiro de 2001, Cartagena, Colômbia. Não paginado.

KRAKIWSKY, E. J. **Conformal Map Projections in Geodesy**. Department of Surveying Engineering. University of New Brunswick. Fredericton, 1973. 144 p.

LEAL, E. M. **Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD**. Curitiba, 1998. 127 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Impresso na Imprensa Universitária da UFPR, 1987. 134 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS : Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

NIMA – National Imagery and Mapping Agency. **Department of Defense World Geodetic System 1984**. NIMA TR 8350.2, Third Edition, 1997. 171 p.

OSG. OFFICE OF SURVEYOR GENERAL. **A Proposal for Geodetic Datum Development**. OSG TR2.1. 10 june 1998. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz>> Acessado em 2 jun. 2000.

OLIVEIRA, C. **Curso de Cartografia Moderna**. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 1993, 152 p.

OLIVEIRA, L. C. de. **Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69 – Uma Proposta Metodológica de Transformação**. São Paulo, 1998, 197 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PAN, M.; SJÖBERG, L.E. Unification of vertical datums by GPS and gravimetric geoid models with application to Fennoscandia. **Journal of Geodesy**. Springer-Verlag, volume 72, number 2, p. 64-70, February 1998.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Rede Geodésica de Alta Precisão**. Governo do Estado do Paraná, 1996. 25 p.

IDL. PRIMEIRA DIVISÃO DE LEVANTAMENTO. Disponível em: <<http://www.idl.com.br/dsg/dsg.html>> Acessado em 20 out. 2001.

SILVA, I. da; ERWES, H. **Curso de Atualização em Topografia e GPS. Parte 1 - Topografia e UTM**. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, Novembro de 1996. 69 p.

SMITH, J. R. **Introduction to Geodesy: the history and concepts of modern geodesy**. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: Wiley Interscience publication, 1996. 224 p.

SNYDER, J. P. **Map projections – a working manual**. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington: United States Government Printing Office, 1987. 384 p.

SOUZA, C. B. de. **Conversão analógico-digital das cartas do mapeamento sistemático na DSG**. [comunicação pessoal]. Comunicação pessoal via telefone, realizada em: 18 jun. 2001.

TORGE, W. **Geodesy**. Second Edition. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1991. 264 p.

VANICEK, P.; KRAKIWSKY, E. **Geodesy: the concepts**. Second Edition. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1986. 697 p.

VIEIRA, A. J. B. **Textos Didáticos: Conceitos Importantes para Cartografia Digital**. Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná: Imprensa Universitária, setembro de 2000. 30 p.

## **APÊNDICE 1 – RESULTADOS DO AJUSTAMENTO**

### **DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE CÓRREGO ALEGRE E SAD 69**

## 1 RESULTADOS PARA O ESTADO DE ALAGOAS

### 1.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.0039	0.0050	-0.0363
-0.0196	-0.0390	0.0439
0.0235	0.0340	-0.0076

### 1.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em relação à Média (m):

0.6634	-0.1545	0.2544
-0.0206	-0.1754	0.0065
-0.6427	0.3300	-0.2610

## 2 RESULTADOS PARA O ESTADO DA BAHIA

### 2.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.5027	-0.5172	-0.1258
-0.6930	-0.5028	-0.8540
-1.0737	-0.7560	-1.4600
-0.8785	-0.5005	-1.7931
-0.4653	-0.5042	-0.0398
-0.4525	-0.4993	-0.0124
-0.0090	-0.5521	1.6526
0.0712	0.4452	-1.0296
0.2207	0.5640	-0.8364
0.7996	0.3030	1.9617
0.8298	0.2760	2.1443
0.9488	0.4204	2.1015
0.3954	0.7048	-0.6231
-0.4789	-0.9407	1.2317
0.4446	0.7276	-0.5169
-0.4545	-0.8129	0.9344
0.4934	0.7256	-0.4414
0.1450	0.2826	-0.2294
-0.0772	0.1087	-0.6437
0.3992	0.1369	0.8715
-0.1628	0.0089	-0.7096
0.8292	1.0585	-0.6311
-0.3287	-0.1766	-0.9508

### 2.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

0.8960	0.0507	0.3314
1.6573	-0.4600	1.2279
2.5224	-0.8846	2.0695
3.1454	-1.8581	2.5982
0.7472	0.0673	0.2452
0.8866	-0.0124	0.2332
-0.2492	0.4235	-1.5413
0.4514	-0.5348	1.0349
0.0791	-0.4470	0.7628
-1.1992	-0.4949	-1.8089
-1.3075	-0.4152	-2.0088
-1.4235	-0.6305	-1.9341
-0.3621	-0.3225	0.4434
0.0122	1.2385	-1.3061
-0.4844	-0.2437	0.2924
-0.0531	1.1805	-1.0417
-0.5176	-0.0346	0.0938

-0.5624	0.4638	-0.0897
-0.5654	0.8278	0.2438
-1.5484	0.1978	-0.9035
-0.6670	1.0144	0.2833
-0.4941	-0.2903	0.1733
-0.9635	1.1646	0.6003

### 3 RESULTADOS PARA O ESTADO DO CEARÁ

#### 3.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

##### Valores dos Resíduos (m):

-0.2297	-0.2680	-0.0213
-0.0882	-0.0811	-0.0183
0.0401	0.0602	-0.0309
0.0942	0.1004	0.0092
0.1533	0.1271	0.0326
0.0656	0.0779	0.0841
0.0466	-0.0037	0.1942
0.0124	-0.0203	0.1569
-0.0239	-0.0023	0.0628
-0.0786	-0.0602	-0.0363
0.0311	0.0269	-0.2020
-0.0230	0.0432	-0.2310

#### 3.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

##### Resíduos em Relação à Média (m):

0.9254	-0.9477	-0.0261
0.4663	-0.6493	-0.0212
-0.0190	-0.3159	-0.0230
-0.2848	-0.0840	-0.0759
-0.5869	0.1577	-0.1251
-0.3376	0.1909	-0.1173
-0.5888	0.5873	-0.2536
-0.4845	0.5717	-0.1975
-0.1869	0.3477	-0.0528
-0.1679	0.5325	0.0615
1.0028	-0.5339	0.4641
0.2621	0.1431	0.3673

### 4 RESULTADOS PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

#### 4.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

##### Valores dos Resíduos (m):

-0.0929	-0.0983	-0.0288
0.0527	-0.0052	0.1075
-0.0633	-0.0004	-0.1234
-0.0447	-0.0306	-0.0347
0.0956	0.0615	0.0926
0.0526	0.0730	-0.0132

#### 4.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

##### Resíduos em Relação à Média (m):

-0.8346	-0.6020	0.2123
0.5794	0.5653	-0.3986
1.6382	0.8833	0.3681
-0.7423	-0.3473	-0.2024
0.0964	0.1932	-0.3296
-0.7371	-0.6925	0.3501

## 5 RESULTADOS PARA O ESTADO DO MATO GROSSO

### 5.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.3713	-0.5032	0.1979
0.1851	0.1209	0.0007
0.5006	0.6463	-0.2985
-0.0490	0.0746	0.0239
-0.3161	-0.2650	0.0780
0.0508	-0.0736	-0.0021

### 5.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

-1.9308	-2.0344	-0.7991
-1.9961	-2.0987	-0.4477
-1.0701	-1.0083	0.0119
0.4293	0.3565	0.1316
2.0847	1.9164	0.5979
2.4831	2.8685	0.5052

## 6 RESULTADOS PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

### 6.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

0.5508	0.1670	0.5402
0.8338	0.2376	0.9541
0.3026	-0.0308	0.5363
0.4840	0.1636	0.1903
0.0440	-0.2570	0.2772
-0.2785	-0.4114	0.2152
-0.8620	-0.3067	-0.3202
1.0015	1.2862	-0.1610
0.0440	0.3520	-0.8920
0.2089	-0.0824	1.5925
-2.5701	-1.7068	-1.7319
1.0538	1.2585	-0.1961
1.6049	1.1953	0.6755
0.1205	-0.1341	0.4995
-1.9371	-1.0168	-1.5423
-0.6015	-0.7141	-0.6374

### 6.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

-0.4872	1.2244	-1.2849
-0.7478	1.2640	-1.6313
-0.2508	1.2681	-1.2543
0.0563	2.6372	1.3177
0.3088	2.4898	0.2381
0.4586	1.9052	-0.3515
0.8123	-0.2148	0.1498
-1.1178	-2.8755	0.5438
-0.2917	-2.8886	1.4952
0.1134	0.4405	0.0489
2.3025	1.6018	0.1613
-1.1716	-3.0519	0.8009
-1.9317	-3.4706	-0.9011
-0.0568	1.2539	-1.1138
1.7350	0.8530	0.3115
0.2686	-2.4366	1.4695



## 7 RESULTADOS PARA O ESTADO DA PARAÍBA

### 7.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.0433	-0.0765	0.0236
0.1134	0.1884	-0.0560
-0.1507	-0.2104	-0.0720
0.0005	-0.0007	0.0644
0.0041	-0.0076	0.0025
0.0758	0.1068	0.0374

### 7.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

1.6361	-0.6084	0.0561
0.9455	-0.7853	0.1703
-0.1176	0.2009	0.1004
-0.6904	0.3682	-0.1241
-0.7989	0.4076	-0.0679
-0.9745	0.4169	-0.1348

## 8 RESULTADOS PARA O ESTADO DO PARANÁ

### 8.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.3578	-0.1737	-0.2307
0.2394	0.0276	0.3177
0.3968	0.1525	0.3164
-0.2784	-0.0063	-0.4034

### 8.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

2.4913	1.8591	0.8557
0.4715	0.0944	0.8135
-1.1970	-0.7580	-0.6055
-1.7657	-1.1954	-1.0637

## 9 RESULTADOS PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO

### 9.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

0.1437	0.2400	0.0659
0.2263	0.1618	-0.2094
0.2188	0.1175	-0.2502
-0.3426	-0.2217	0.1702
-0.3166	-0.1637	-0.1613
-0.2656	-0.1618	-0.0465
-0.2251	-0.3595	0.5540
0.0159	0.0208	-0.0474
0.0728	0.0559	0.1665
0.1564	0.1391	-0.1295
0.3158	0.1714	-0.1121

### 9.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

1.6154	-1.8574	0.0353
1.7015	-1.7899	0.3626
1.7071	-1.7088	0.4135
0.8956	-0.2199	-0.1195
-0.3367	0.6702	0.0959

-0.4266	0.7313	-0.0131
0.8319	0.0466	-0.4483
-1.2528	1.0094	-0.0547
-0.7200	0.6713	-0.1655
-1.7745	1.1029	-0.0345
-2.2410	1.3442	-0.0717

## 10 RESULTADOS PARA O ESTADO DO PIAUÍ

### 10.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

0.0427	-0.0281	0.2280
0.0842	0.0340	0.1466
0.0458	0.0298	0.0177
-0.0167	-0.0007	-0.0837
-0.0804	-0.0529	-0.0965
-0.0476	0.0176	-0.2108
-0.0389	0.0032	-0.1850
-0.0385	-0.0375	-0.0366
-0.0116	0.0205	-0.0426
-0.0048	0.0257	0.0247
-0.0041	-0.0178	0.0843
-0.0189	-0.0123	0.0924
0.0470	0.0105	0.0588
0.0420	0.0078	0.0026

### 10.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

0.4020	-1.0573	0.0168
0.4693	-1.1294	0.1116
0.4484	-1.0066	0.2161
0.4015	-0.7196	0.2676
0.1957	-0.5387	0.2339
0.1264	-0.2843	0.2883
0.2484	-0.2317	0.2651
0.1431	0.1647	0.0323
-0.0374	0.1695	0.0166
-0.2939	0.5049	-0.1445
-0.2217	0.6658	-0.2320
-0.5257	0.9448	-0.3304
-0.5905	1.1566	-0.3655
-0.7658	1.3615	-0.3763

## 11 RESULTADOS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

### 11.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

-0.0965	-0.1377	0.0314
0.0423	0.0606	0.0254
-0.0565	-0.0588	-0.0406
0.0030	0.0193	-0.0334
0.0240	0.0460	-0.0676
0.0650	0.0563	0.1087
0.0186	0.0141	-0.0239

### 11.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

0.4402	-0.5817	0.1585
0.0567	-0.3755	0.0357
-0.1277	0.3903	-0.0592
-0.0366	0.1554	0.0103

0.1213	0.0319	0.1309
-0.8008	0.3456	-0.4650
0.3470	0.0338	0.1885

## 12 RESULTADOS PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

### 12.1 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

0.0868	0.3807	-0.3981
-0.0868	-0.3807	0.3981

## 13 RESULTADOS PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

### 13.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

3.0692	2.8140	0.0954
2.6135	2.4577	0.2227
2.9066	2.7257	0.0887
0.4767	0.6808	-1.4195
-0.5323	-0.8331	0.2778
-1.2847	-2.0429	1.7105
-2.5132	-3.1149	1.8494
-3.2512	-4.2131	2.8192
2.1763	2.4042	-0.4773
0.9556	1.0040	-0.2676
-0.1788	0.4633	-1.2207
-0.3707	0.3196	-1.6431
0.1474	0.1749	-0.3590
-2.2783	-2.0244	-0.0962
0.4606	1.1593	-1.2952
-2.3968	-1.9755	-0.2852

### 13.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

#### Resíduos em Relação à Média (m):

-1.5241	-0.9671	-0.6869
-2.0133	-1.7904	-0.4652
-1.6266	-1.1007	-0.7825
1.6037	3.0721	-1.4775
1.5149	3.4535	-3.2995
1.4712	3.5728	-4.3148
2.0950	4.0270	-4.4712
2.4725	4.5433	-5.0460
-2.2406	-2.7535	0.8910
-1.6806	-2.5770	1.8248
-1.1045	-2.6626	2.9514
-1.3369	-3.1616	3.8803
1.2276	-0.0771	2.8571
1.5806	-0.1428	2.9765
-2.2210	-3.4166	2.1956
1.7823	-0.0189	2.9671

## 14 RESULTADOS PARA O ESTADO DE SERGIPE

### 14.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

0.0890	0.0430	0.2333
-0.0963	-0.1851	0.2079
0.0072	0.1421	-0.4413

## 14.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

### Resíduos em Relação à Média (m):

0.0293	-0.7397	-0.6104
0.0722	0.5898	0.2627
-0.1016	0.1499	0.3476

## 15 RESULTADO CONSIDERANDO TODOS OS ESTADOS

### 15.1 TESTE COM SETE PARÂMETROS

#### Valores dos Resíduos (m):

0.8670	1.1285	0.3685
-0.3981	-0.2482	1.1230
-1.3629	-0.7858	0.3302
0.7924	0.8728	0.8233
0.0375	0.2145	1.0892
0.8027	1.1649	0.1698
-1.5293	-1.2696	0.6774
-1.4712	-1.1803	1.0846
-1.8696	-1.3357	0.8042
-2.6667	-0.8561	-1.4248
-2.7439	-1.4245	-0.4419
-2.5608	-1.5190	0.0540
-2.1890	-0.4723	-0.3196
0.1106	1.9401	-0.4448
-0.3476	1.5474	-1.1978
-1.8177	0.2592	0.2189
-3.8747	-2.8484	-0.8140
0.2852	2.0402	-0.5607
1.2548	1.7832	0.9322
-1.9206	-1.2439	0.6537
-3.2429	-1.9095	-0.8950
-0.6305	0.8316	-1.0833
-1.4775	-0.5686	-0.5829
-2.0188	-0.6393	-1.3812
-2.6663	-0.7674	-2.2820
-2.9115	-0.4219	-2.8836
1.5024	1.5353	1.5756
2.2878	1.8981	1.4326
1.6607	1.5020	1.7607
-2.0164	-2.3151	1.9965
-1.6262	-3.3593	3.7937
-1.3629	-3.7258	4.8681
-1.8083	-4.5175	5.0660
-2.0744	-5.1687	5.7254
2.7214	2.6183	0.2268
2.4895	2.1748	-0.5173
2.0378	1.9230	-1.7018
2.3792	2.3575	-2.6416
-0.8534	0.7356	-1.4759
-0.7051	-0.2260	-1.6380
3.1761	2.4469	-1.0253
-0.9413	-0.2000	-1.5633
-3.6753	-3.6426	0.5600
-3.4347	-2.6419	-0.1742
3.9667	3.2254	-1.7566
6.1573	4.6720	-1.7673
7.7829	5.3915	-0.4999
8.3186	5.8257	-0.1120
-0.3065	-0.0453	-1.6375
-0.0881	-0.0749	-1.9814
-0.7121	-1.4146	-2.2118
-1.9971	-3.1378	-2.2620
-3.4044	-5.1672	-2.6865

-3.6781	-6.1201	-2.4722
-1.4165	-0.6411	-0.4098
-1.5579	-0.6108	-0.3867
-0.6382	-0.6433	1.2244
-1.1032	0.2941	-1.0895
-0.8089	0.3939	-0.7853
0.3271	0.1987	1.4503
0.3937	0.1493	1.6440
0.5060	0.2826	1.5170
-0.5394	0.6520	-0.3732
-0.9766	-1.0336	1.1204
-0.3807	0.5512	-0.2586
-1.0026	-0.9648	0.8336
-0.4188	0.5610	0.0278
-0.5460	0.2079	0.1138
-0.6531	-0.0025	-0.2896
0.3002	0.0101	0.4979
-0.6277	-0.2166	-0.3203
-0.3323	0.9527	0.0818
0.3197	0.3379	-0.4525
-0.4623	-0.2544	-0.8944
-0.4526	0.8597	0.1633
-0.1102	-0.2847	-1.2059
-0.4433	1.0134	-0.0810
0.2617	-0.3341	-1.0454
-0.4612	0.9722	-0.1149
-0.2564	-0.0219	0.0680
-0.4472	0.9982	-0.1338
0.1350	-0.1385	-1.4110
-0.4057	0.9907	-0.1915
0.5185	-0.5012	-0.4907
-0.5442	0.9882	-0.2744
0.8136	-0.4460	-1.0179
0.5864	-0.5358	-0.3763
-0.2169	0.0425	0.4836
0.0038	0.0003	0.4718
-0.5202	0.8990	-0.2793
-0.4367	0.8025	-0.3166
1.1695	-0.4901	-0.7718
1.0235	-0.4673	-0.4548
0.3071	0.1030	0.4903
0.7129	-0.1353	-0.1133
1.4867	-0.5457	-0.6142
0.5013	-0.0356	0.3595
-0.3982	0.7736	-0.2773
1.7268	-0.6595	-0.6479
1.0586	0.2157	0.0490
0.5947	0.1896	0.4916
-0.4576	0.8084	-0.1794
1.3095	0.4018	0.3092
0.7689	0.1123	0.5488
1.6107	-0.5665	-0.1856
1.5654	0.4270	0.4070
-0.4533	0.7095	0.1304
0.8333	0.1179	0.5742
-0.4170	0.7586	0.0988
0.6915	0.1667	0.6602
1.9301	-0.4621	0.0204
1.5543	0.0961	0.4894
2.0963	-0.3491	-0.0591
1.5235	0.1112	0.4443
0.7357	0.0186	0.7820
-0.1624	0.7445	0.2830
1.4848	0.2638	0.3635
2.1454	-0.3407	0.0209

0.6654	0.0123	0.7517
-0.2587	0.6493	0.4433
2.1174	0.1070	0.7526
1.2388	0.2591	0.3713
0.4964	0.0813	0.6774
-0.2207	0.5874	0.5090
0.4554	0.0219	0.6094
-0.1280	0.4687	0.5509
-0.1656	0.5952	0.6190
0.2713	0.3124	0.4753
-0.0666	0.5679	0.6232

## 15.2 TESTE COM TRÊS PARÂMETROS

### Resíduos em Relação à Média (m):

-0.2232	-3.7410	-1.2502
1.2767	-2.5410	-1.8502
2.3767	-2.2410	-1.0502
-0.1232	-3.4410	-1.6502
0.7767	-2.9410	-1.8502
-0.1232	-3.8410	-1.0502
2.5767	-1.7410	-1.3502
2.4767	-1.7410	-1.7502
2.9767	-1.7410	-1.4502
3.1767	-0.3410	1.2497
3.4767	-0.5410	0.0497
3.5767	-1.1410	-0.5502
3.9767	-3.2410	0.0497
2.0767	-5.9410	0.4497
2.8767	-5.9410	1.3497
3.2767	-2.6410	-0.0502
5.4767	-1.3410	0.0497
1.9767	-6.0410	0.6497
1.1767	-6.4410	-1.0502
3.0767	-1.8410	-1.2502
4.8767	-2.1410	0.2497
3.3767	-5.4410	1.3497
0.9767	1.4589	0.5497
1.7767	1.0589	1.3497
2.6767	0.5589	2.1497
3.2767	-0.4410	2.7497
0.9767	-6.5410	-1.8502
0.4767	-7.3410	-1.6502
0.8767	-6.6410	-2.0502
4.0767	-2.5410	-2.6502
3.9767	-2.0410	-4.4502
3.9767	-2.0410	-5.4502
4.5767	-1.5410	-5.6502
4.9767	-1.0410	-6.2502
0.2767	-8.3410	-0.3502
0.7767	-8.1410	0.5497
1.3767	-8.1410	1.7497
1.1767	-8.7410	2.7497
3.6767	-5.6410	1.6497
4.0767	-5.6410	1.8497
0.2767	-8.9410	0.9497
4.2767	-5.6410	1.7497
5.3767	-0.9410	-1.4502
5.1767	-1.7410	-0.5502
-0.4232	-9.9410	1.6497
-2.5232	-11.7410	1.5497
-4.2232	-12.5410	0.1497
-4.8232	-13.0410	-0.3502
3.7767	-5.8410	1.9497
3.6767	-5.9410	2.3497

4.5767	-4.8410	2.7497
6.0767	-3.4410	2.8497
7.7767	-1.8410	3.3497
8.1767	-0.9410	3.2497
0.8767	1.5589	0.3497
1.0767	1.4589	0.3497
-0.1232	1.8589	-1.3502
0.5767	0.9589	1.2497
0.1767	1.0589	0.9497
-1.1232	0.9589	-1.6502
-1.2232	1.0589	-1.8502
-1.3232	0.8589	-1.7502
-0.2232	1.0589	0.5497
0.0767	2.6589	-1.1502
-0.4232	1.2589	0.4497
0.0767	2.6589	-0.8502
-0.4232	1.4589	0.2497
-0.4232	1.8589	0.0497
-0.4232	2.2589	0.4497
-1.4232	1.6589	-0.7502
-0.5232	2.5589	0.4497
-0.4232	1.1589	0.3497
-1.5232	1.5589	0.2497
-0.8232	2.5589	0.8497
-0.3232	1.2589	0.2497
-1.4232	2.8589	1.0497
-0.3232	1.2589	0.5997
-2.0232	3.2589	0.8497
-0.3232	1.3589	0.6497
-1.1232	2.8589	0.1097
-0.4232	1.4589	0.6497
-1.6232	2.4589	1.1497
-0.4232	1.4589	0.7497
-2.4232	3.7589	0.3397
-0.3232	1.5589	0.8497
-2.7232	3.3589	0.6497
-2.5232	3.8589	0.2297
-1.2232	3.0589	-0.2102
-1.6232	3.3589	-0.2402
-0.4232	1.8589	0.8997
-0.6232	2.0589	0.8697
-3.3232	3.7589	0.3497
-3.2232	4.0589	0.1797
-2.1232	3.6589	-0.2302
-2.7232	3.7589	0.0697
-3.8232	4.1589	0.1997
-2.4232	3.8589	-0.1802
-0.7232	2.3589	0.9297
-4.2232	4.4589	0.1697
-3.1232	3.5589	-0.0602
-2.6232	3.9589	-0.2302
-0.6232	2.3589	0.8997
-3.5232	3.6589	-0.3102
-2.9232	4.2589	-0.2902
-4.1232	4.6589	-0.1302
-3.9232	3.8589	-0.4302
-0.7232	2.7589	0.6697
-3.1232	4.4589	-0.3402
-0.8232	2.7589	0.6597
-2.9232	4.4589	-0.3302
-4.6232	4.8589	-0.3502
-4.1232	4.5589	-0.5202
-4.8232	4.7589	-0.3002
-4.0232	4.4589	-0.4502
-3.1232	4.8589	-0.4702

-1.2232	3.0589	0.4897
-3.9232	4.2589	-0.3302
-4.9232	4.8589	-0.3702
-3.0232	4.8589	-0.4102
-1.1232	3.2589	0.3997
-4.8232	4.5589	-0.9302
-3.6232	4.2589	-0.2802
-2.7232	4.6589	-0.2702
-1.3232	3.5589	0.2997
-2.7232	4.8589	-0.1602
-1.5232	3.8589	0.2497
-1.4232	3.7589	0.2697
-2.3232	4.4589	0.1497
-1.6232	3.9589	0.2597



**ANEXO 1 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO**  
**SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA COM DATUM CÓRREGO**  
**ALEGRE**

Coordenadas de vértices de triangulação de 1ª ordem executada pela Divisão de Geodésia e Topografia – IBGE – 1961.

As altitudes estão referidas ao marégrafo de Torres no Rio Grande do Sul.

Sistema Geodésico de Referência com Datum Córrego Alegre.

							continua
ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	MUNICÍPIO
ESPÍRITO SANTO	Coqueiral	20 05 03,789	40 10 36,368	7778718,648	376957,849	21,75	Serra
	Pedra	20 00 24,233	41 05 52,736	7786370,692	280502,597	1300,52	Afonso
	Lajinha						Cláudio
	Serra	20 19 46,057	41 28 27,456	7750092,700	241646,787	1652,72	Iúna
	Valentim						
	Cavalo	19 54 23,132	40 20 44,464	7798282,678	359135,589	729,18	Fundão
	Boa Vista	19 59 32,180	40 51 28,198	7788268,369	305617,249	1174,24	Itaguaçu
MINAS GERAIS	Quitiba	20 10 28,130	40 16 17,093	7768673,950	367136,708	126,11	Serra
	Fortaleza	20 11 44,185	41 40 00,724	7764604,077	221289,288	1440,54	Lajinha
	São Joaquim	20 03 09,193	41 34 06,675	7780609,375	231328,252	1333,82	Lajinha
	Canadá	20 13 17,514	41 53 34,939	7761335,844	197687,807	1031,41	Manhuaçu
	Três Irmãos	16 21 12,830	41 26 32,928	8190366,318	239062,201	1045,06	Medina
	Córrego	18 01 40,320	41 27 48,370	8004970,971	239179,163	720,23	Itambacuri
	Pedra						
	Córrego Paty	19 16 37,985	41 58 09,851	7865800,083	187869,058	584,91	Tarumirim
	Segredo	20 08 27,572	44 39 13,852	7772850,725	536178,637	1104,61	Itaúna
	Pederneiras	19 44 34,226	46 29 54,521	7816254,508	342978,044	1233,06	Pratinha
	Uberaba ME	19 45 54,552	47 57 39,407	7811765,997	189692,808	801,95	Uberaba
	Cabeça da	17 09 27,826	44 44 57,647	8102955,820	526659,116	819,79	Jequitai
	Onça						
	Rocha Negra	21 59 56,180	43 06 13,380	7566045,267	695771,404	747,84	Matias Borba
	Olinto	19 29 35,965	46 56 00,326	7843416,216	297076,088	1065,97	Araxá
	Fazenda	20 53 07,010	47 01 48,021	7689185,185	288821,250	1052,31	São Sebastião
	Paraíso						do Paraíso
	Palmeira	20 07 18,579	42 07 23,100	7772409,543	800817,811	1608,86	Simonésia
	Criminoso	21 32 00,118	43 25 19,949	7617964,916	663410,369	1076,03	Juiz de Fora
	Buracão	19 38 40,873	48 58 26,403	7826546,603	712444,761	700,70	Areias
BAHIA	Sêco	12 37 48,335	39 42 08,522	8603651,951	423718,325	454,78	Santa
							Terezinha
	São Roque	13 25 28,462	40 11 52,693	8515579,497	370301,159	984,12	Itiruçu
	São Pedro	14 42 01,666	40 26 01,567	8374294,329	345626,342	976,65	Vitória da
	Chapada dos	15 44 14,254	41 12 48,168	8258859,735	262819,812	967,59	Conquista
	Macacos						Encruzilhada

## conclusão

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	MUNICÍPIO
SÃO PAULO	Boa Vista	21 44 20,708	46 52 09,790	7594852,756	306656,362	1066,56	Casa Branca
	Santa Maria I	22 03 54,329	47 59 05,908	7556920,175	191915,765	814,58	São Carlos
	Olhos	21 55 50,702	47 02 48,286	7573395,987	288589,341	716,87	Casa Branca
	D'Água						
	Ribeiro	22 34 16,774	44 45 16,128	7503879,824	525241,116	766,31	Queluz
	Jambeiro	23 14 00,624	45 43 06,125	7430415,251	426503,398	938,01	Caçapava
	Jaraguá	23 27 29,137	46 45 59,684	7404626,120	319547,819	1133,12	São Paulo
	Casa da Pedra	23 47 13,752	47 19 15,892	7367370,393	263479,890	1211,25	Piedade
	Capuavinha	23 46 44,858	47 55 31,858	7367120,918	201836,514	788,01	São Miguel
	São Francisco	22 04 41,157	49 01 40,768	7557180,466	703478,214	567,97	Arealva
	Alto Alegre	21 49 39,446	50 21 44,230	7586085,022	565908,334	494,16	Tupã
	Brasilândia	22 01 03,029	50 58 34,596	7565203,542	502448,543	482,97	Rancharia
	Santo Anastácio	21 57 46,525	51 40 17,292	7571093,610	430668,281	466,76	Santo Anastácio
	Vertentes	20 16 06,217	49 01 48,846	7757564,126	705735,695	526,24	Guaraci
	São João	21 07 30,249	51 09 28,985	7663972,583	483586,938	496,57	Mirandópolis
	Sta. Adelina	22 41 12,394	50 53 00,895	7491115,990	511958,552	416,32	Maracai
	P. Machado	21 11 14,021	50 57 40,372	7657100,715	504026,055	467,59	Valparaíso
RIO DE JANEIRO	Mirante	22 48 05,992	43 11 27,901	7477266,577	685679,682	98,36	Rio de Janeiro
	Formoso	22 09 12,271	43 36 31,496	7549504,124	643467,240	784,19	Rio das Flores
PARANÁ	Bela Vista do Paraíso	22 59 46,680	51 11 15,450	7456844,261	480770,557	623,23	Bela Vista do Paraíso
	Califórnia	23 40 50,329	51 21 18,792	7381049,867	463779,928	845,59	Califórnia
	Tigre	24 10 54,958	50 48 45,541	7325582,403	519029,473	902,10	Ortigueira
	Igreja Velha	24 35 34,850	50 21 36,466	7279929,056	564783,814	903,33	Tibagi
MATO GROSSO	Ruim	20 47 09,210	51 46 40,329	7701323,816	419037,051	425,56	Três Lagoas
	Cambaúva	20 41 46,515	52 23 13,413	7710821,081	355538,365	385,12	Três Lagoas
	Cervo	20 14 16,630	53 57 13,412	7759404,742	191374,433	561,82	Rio Pardo
	Campo Verde	20 15 58,762	55 01 58,332	7757796,676	705463,123	362,78	Campo Grande
	Juvêncio	20 11 51,110	56 36 16,976	7766582,418	541298,943	194,44	Miranda
	Conselho	19 40 23,387	57 33 09,101	7824564,594	442081,253	381,24	Corumbá

Coordenadas de vértices de triangulação da região nordeste. Trabalho de campo realizado entre os anos de 1952 e 1963. Ajuste realizado em setembro de 1964 pelo *U.S. Army Map Service* através do método de variação de coordenadas.

Sistema Geodésico de Referência com Datum Córrego Alegre.

Injunções (coordenadas injuncionadas no processo de ajustamento):

Seco: 12° 37' 48,3354" S e 39° 42' 08,5222" W

Uma Vida: 12° 39' 09,1844" S e 39° 32' 44,6844" W

So. Tanquinho: 12° 42' 32,7763" S e 39° 43' 51,4560" W

continua

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)
BAHIA	Caatinga	12 17 38,7940	38 57 08,2768	8640907,862	505187,186
	Canifista	11 30 49,7453	40 15 03,0820	8726894,648	363578,310
	Pedras Altas	11 09 09,5280	40 04 44,9226	8766913,541	382159,920
	Morro da Bananeira	12 34 15,9715	38 40 19,3919	8610255,351	535624,667
	São João	12 29 54,0991	38 35 36,0494	8618287,727	544186,993
	Candeias	12 40 39,2030	38 32 12,8607	8598460,868	550285,123
	Itiúba	10 39 56,3017	39 53 37,6519	8820836,058	402242,703
	Recreio	11 20 34,2257	39 00 02,4198	8746097,783	499926,653
	Coite	10 27 06,7949	39 52 14,6213	8844480,077	404699,659
	Serrote	11 11 07,3762	39 00 05,0751	8763508,532	499846,084
	Melancia	9 50 21,9730	40 06 21,3884	8912127,528	378722,818
	Serra do Sobrado	10 03 44,2745	39 30 30,2021	8887643,799	444290,536
	Corundundum	9 43 18,5533	39 19 57,1773	8925313,781	463521,880
	Esplanada	11 47 41,2995	37 56 55,2550	8695906,442	614541,864
	Saco da Barriguda	9 38 30,6389	39 06 55,8333	8934171,911	487326,576
	Sobrado	9 14 31,1166	40 47 30,8329	8977889,363	303139,510
	Taboleiro	10 09 05,0388	38 19 48,9925	8877759,879	573369,041
SERGIPE	Papagaio	11 16 21,1369	37 57 47,9163	8753671,286	613156,933
	Meio	9 55 11,6142	37 35 53,4503	8903108,094	653691,219
	Merem	10 38 17,6143	37 19 55,4570	8823517,859	682460,956
PERNAMBUCO	Riacho	9 16 52,5307	40 41 36,4138	8973597,428	313979,110
	Morro da Lagoa Comprida	8 41 40,9599	41 05 47,8590	9038250,384	269302,733
	Cainana	8 32 19,7559	41 07 47,4764	9055476,055	265548,974
	Pelado	8 35 06,0671	38 57 14,3781	9051015,577	505062,544
	Farsola	8 36 40,9864	37 05 40,2732	9047578,640	709703,093
	Mata Verde	8 28 28,0556	37 04 01,3159	9062709,634	712805,267
	Macambira	7 49 22,1693	39 13 04,9871	9135273,203	475959,581
	Serra Verde	8 15 06,7424	36 18 00,9248	9086840,525	797442,090
	Seixo	7 37 41,4069	37 20 22,6264	9156446,569	683166,810
	Guariba	8 31 33,0185	35 40 05,8061	9056543,921	206232,977
	Cidadão	8 17 43,7087	35 16 09,4925	9082312,015	250034,991
ALAGOAS	Bugio	9 21 18,0426	37 08 26,5131	8965347,972	704202,432
	Campo Alegre	9 46 14,2057	36 23 05,5137	8918825,270	786911,721
	Jussara	9 12 48,4216	35 52 39,4967	8980265,407	183755,359

## conclusão

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)
PIAUÍ	Mafrense	8 21 37,2369	40 55 45,0082	9075334,751	287550,871
	Topa	8 14 55,1181	41 09 11,5310	9087564,163	262801,457
	Vaca Brava	8 00 39,6971	41 10 03,0871	9113843,194	261082,402
	Santa Cruz	7 28 30,9594	41 14 16,3977	9173074,577	253010,611
	Simões	7 29 05,9200	40 48 14,1930	9172220,422	300925,629
	Duas Onças	6 39 05,9123	41 07 57,8428	9264243,944	264204,283
	Valença	6 21 57,5922	41 28 29,2585	9295673,257	226209,728
	Castello	5 29 53,5477	41 43 12,2829	9391571,542	198582,841
	Miringiba	5 32 29,9890	41 27 13,9941	9386891,281	228118,640
	Poti	4 54 37,9244	41 21 35,2816	9456757,567	238286,948
	Pé do Morro	4 26 59,1177	41 41 58,5500	9507605,131	200379,759
	Piripiri E.B.	4 03 44,8577	41 23 02,2500	9550573,301	235300,642
	Caxinga	3 19 56,5337	41 44 44,7106	9631239,483	194850,774
	Mutucas	2 58 21,8218	41 38 22,2960	9671066,944	206563,861
CEARÁ	Pitombeira	7 25 49,4041	38 50 06,0465	9178660,053	518206,531
	Pedra Grande	6 33 26,5538	38 42 04,7889	9275163,385	533019,939
	Esconso	5 45 35,8871	38 28 53,1704	9363295,817	557416,803
	Riacho	5 17 52,5317	38 21 06,2164	9414359,361	571834,816
	Tapera	4 56 03,3557	38 07 16,8200	9454531,649	597420,683
	Panelas	4 33 35,3668	38 34 32,8630	9495972,386	547057,239
	Preaoca	4 03 55,2894	38 22 13,3353	9550616,067	569890,998
	Fortaleza S. Base	3 59 27,2062	38 31 34,0330	9558859,553	552606,607
	Gigante	4 05 35,6461	38 54 31,4955	9547561,295	510128,655
	Pau D'Arco	3 38 46,1647	39 04 50,5520	9596979,850	491036,823
	Judeu	3 42 44,1000	41 14 17,1824	9589360,101	251400,954
	Chora	3 19 52,5319	40 04 04,4345	9631723,367	381357,545
PARAÍBA	Olho D'Água	6 38 52,7304	38 16 27,3849	9265098,418	580221,068
	Jabre	7 15 09,5077	37 23 03,6358	9197995,919	678383,346
	Santo Antônio	7 20 37,7940	35 47 49,8867	9187268,188	191147,355
	Roma	6 45 05,3447	35 33 29,9534	9252972,566	217180,839
	Guariba II	6 47 27,6865	35 25 15,6711	9248675,428	232390,163
	Fidele	6 32 34,1190	35 24 22,2850	9276146,367	233896,322
RIO GRANDE DO NORTE	Mãe Luzia	6 38 14,0155	37 16 04,0299	9266011,393	691504,913
	Serra do Estreito	6 13 59,6203	37 01 47,7937	9310599,188	717981,512
	Canto Escuro	5 28 37,7764	36 47 58,8112	9394137,102	743800,092
	Açu	5 35 33,4946	36 57 39,9146	9381427,278	725863,142
	Maracajá	5 35 25,6196	37 10 21,4745	9381746,321	702421,487
	Bonfim	5 49 43,8747	36 06 05,7410	9354881,995	821011,186
	Umari	5 26 49,2133	37 27 12,4488	9397698,071	671346,815

**ANEXO 2 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO**

**SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA SAD 69 (REALIZAÇÃO INICIAL)**

Coordenadas de vértices de triangulação em SAD 69 (realização inicial) referentes aos pontos ajustados pelo IBGE.

As altitudes estão referidas ao marégrafo de Imbituba – Santa Catarina.

A ondulação geoidal ( $\Delta N$ ) foi obtida através do programa MAPGEO - v 2.0 elaborado no âmbito do convênio IBGE - EPUSP/PTR. A precisão absoluta esperada da ondulação é de 3,0 m e a relativa é de 1,0 cm/km.

continua

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	$\Delta N$ (m)
ESPÍRITO SANTO	Coqueiral	20 05 03,321	40 10 35,148	7778753,547	376997,787	21,75	5,62
	Pedra Lajinha	20 00 23,783	41 05 51,576	7786405,143	280544,354	1300,52	5,05
	Serra Valentim	20 19 45,594	41 28 26,311	7750128,097	241689,473	1652,72	4,95
	Cavalo	19 54 22,671	40 20 43,259	7798317,154	359175,783	729,18	5,59
	Boa Vista	19 59 31,727	40 51 27,027	7788302,835	305658,404	1174,24	5,16
	Quitiba	20 10 27,661	40 16 15,885	7768709,026	367176,639	126,11	5,48
MINAS GERAIS	Fortaleza	20 11 43,727	41 39 59,586	7764639,181	221332,547	1440,54	5,07
	São Joaquim	20 03 08,741	41 34 05,530	7780644,070	231371,374	1333,82	5,06
	Canadá	20 13 17,056	41 53 33,824	7761371,034	197731,264	1031,41	5,20
	Três Irmãos	16 21 12,135	41 26 31,738	8190403,642	239106,896	1045,06	8,65
	Córrego Pedra	18 01 39,723	41 27 47,170	8005007,396	239223,904	720,23	6,67
	Córrego Paty	19 16 37,457	41 58 08,720	7865836,148	187913,465	584,91	5,49
	Segredo	20 08 27,062	44 39 13,113	7772886,681	536198,770	1104,61	3,92
	Pederneiras	19 44 33,686	46 29 54,137	7816291,015	342994,941	1233,06	2,07
	Uberaba ME	19 45 53,980	47 57 39,194	7811803,617	189710,299	801,95	0,39
	Cabeça da Onça	17 09 27,203	44 44 56,934	8102991,381	526679,219	819,79	2,24
	Rocha Negra	21 59 55,750	43 06 12,344	7566081,143	695793,899	747,84	4,20
	Olinto	19 29 35,406	46 56 00,005	7843452,996	297092,828	1065,97	1,62
	Fazenda Paraíso	20 53 06,568	47 01 47,739	7689220,294	288837,157	1052,31	0,40
	Palmeira	20 07 18,112	42 07 22,012	7772443,759	800838,423	1608,86	5,37
	Criminoso	21 31 59,662	43 25 18,991	7618000,982	663431,924	1076,03	4,63
	Buracão	19 38 40,297	48 58 26,298	7826583,973	712440,098	700,70	0,03
BAHIA	Sêco	12 37 47,541	39 42 07,129	8603687,775	423763,063	454,78	9,34
	São Roque	13 25 27,663	40 11 51,356	8515616,412	370345,987	984,12	8,24
	São Pedro	14 42 00,880	40 26 00,245	8374332,311	345671,392	976,65	9,64
	Chapada dos Macacos	15 44 13,485	41 12 46,951	8258898,547	262864,529	967,59	8,76

## conclusão

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	ΔN (m)
SÃO PAULO	Boa Vista	21 44 20,334	46 52 09,492	7594886,997	306672,072	1066,56	-0,35
	Santa Maria I	22 03 53,962	47 59 05,790	7556954,721	191930,557	814,58	-4,19
	Olhos D'Água	21 55 50,340	47 02 48,017	7573430,150	288604,886	716,87	-1,21
	Ribeiro	22 34 16,466	44 45 15,368	7503913,088	525261,880	766,31	3,54
	Jambeiro	23 14 00,412	45 43 05,484	7430446,709	426524,371	938,01	2,44
	Jaraguá	23 27 28,972	46 45 59,182	7404656,604	319568,856	1133,12	0,78
	Casa da Pedra	23 47 13,609	47 19 15,437	7367400,787	263501,699	1211,25	0,69
	Capuavinha	23 46 44,735	47 55 31,463	7367150,748	201858,968	788,01	0,40
	São Francisco	22 04 40,743	49 01 40,817	7557216,358	703469,2954	567,97	-4,44
	Alto Alegre	21 49 38,988	50 21 44,437	7586121,854	565899,966	494,16	-0,55
	Brasilândia	22 01 02,540	50 58 34,871	7565241,579	502440,569	482,97	1,12
	Santo Anastácio	21 57 46,001	51 40 17,676	7571132,599	430659,811	466,76	1,74
	Vertentes	20 16 05,656	49 01 48,744	7757601,888	705731,158	526,24	0,58
	São João	21 07 29,720	51 09 29,155	7664010,544	483582,634	496,57	-0,77
	Sta. Adelina	22 41 11,962	50 53 01,206	7491153,283	511949,236	416,32	2,37
	P. Machado	21 11 13,495	50 57 40,508	7657138,679	504021,986	467,59	-0,79
RIO DE JANEIRO	Mirante	22 48 05,649	43 11 26,862	7477300,986	685702,412	98,36	3,42
	Formoso	22 09 11,870	43 36 30,541	7549539,432	643489,296	784,19	3,99
PARANÁ	Bela Vista do Paraíso	22 59 46,241	51 11 15,844	7456882,222	480760,052	623,23	3,23
	Califórnia	23 40 49,924	51 21 19,305	7381087,828	463766,744	845,59	3,51
	Tigre	24 10 54,628	50 48 46,048	7325618,911	519014,458	902,10	3,61
	Igreja Velha	24 35 34,557	50 21 36,939	7279965,140	564768,080	903,33	3,72
MATO GROSSO	Ruim	20 47 08,660	51 46 40,592	7701361,917	419032,403	425,56	-0,36
	Cambaúva	20 41 45,949	52 23 13,759	7710859,517	355533,623	385,12	0,97
	Cervo	20 14 16,029	53 57 13,914	7759443,535	191371,078	561,82	4,60
	Campo Verde	20 15 58,158	55 01 58,906	7757835,991	705438,994	362,78	7,14
	Juvêncio	20 11 50,487	56 36 17,678	7766622,019	541277,070	194,44	10,19
	Conselho	19 40 22,746	57 33 09,895	7824603,911	442060,233	381,24	12,47



Coordenadas de vértices de triangulação, em SAD 69 (realização inicial), referentes aos pontos ajustados pelo *U.S. Army Map Service*.

Uma Vida (Ba): 12° 39' 08,394" S e 39° 32' 43,274" W; N=8601244,545 m; E=440778,816 m; H=690,080 m;  $\Delta N=9,56$  m

So. Tanquinho(Ba): 12° 42' 31,988" S e 39° 43' 50,068" W; N=8594941,072 m; E=420681,948 m; H=255,20 m;  $\Delta N=9,15$  m

continua

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	$\Delta N$ (m)
BAHIA	Caatinga	12 17 38,052	38 57 06,804	8640941,614	505231,488	231,32	11,47
	Canifista	11 30 48,894	40 15 01,789	8726931,155	363622,326	597,40	10,68
	Pedras Altas	11 09 08,675	40 04 43,615	8766949,707	382203,765	517,10	11,49
	Morro da Bananeira	12 34 15,247	38 40 17,925	8610288,807	535667,660	157,75	11,32
	São João	12 29 53,379	38 35 34,573	8618320,959	544229,980	176,55	11,61
	Candeias	12 40 38,486	38 32 11,384	8598494,182	550327,871	148,75	11,31
	Itiúba	10 39 55,445	39 53 36,329	8820871,823	402286,362	625,53	12,29
	Recreio	11 20 33,447	39 00 00,932	8746131,701	499971,751	484,38	13,38
	Coite	10 27 05,937	39 52 13,297	8844515,664	404743,301	805,24	12,47
	Serrote	11 11 06,584	39 00 03,591	8763542,707	499891,097	294,25	13,60
	Melancia	9 50 21,104	40 06 20,092	8912162,887	378766,608	631,85	12,32
	Serra do Sobrado	10 03 43,418	39 30 28,817	8887678,914	444334,671	928,87	13,40
	Corundundum	9 43 17,676	39 19 55,762	8925349,183	463566,295	717,35	13,78
	Esplanada	11 47 40,521	37 56 53,689	8695940,645	614585,188	154,87	13,83
	Saco da Barriguda	9 38 29,758	39 06 54,388	8934207,319	487371,072	581,68	14,15
	Sobrado	9 14 30,228	40 47 29,632	8977924,828	303183,140	527,09	11,38
	Taboleiro	10 09 04,162	38 19 47,447	8877795,543	573413,473	551,80	15,52
SERGIPE	Papagaio	11 16 20,311	37 57 46,358	8753706,427	613200,168	310,54	14,70
	Meio	9 55 10,720	37 35 51,817	8903143,971	653735,525	433,54	16,81
	Merem	10 38 16,738	37 19 53,801	8823553,833	682504,823	417,50	16,10
PERNAMBUCO	Riacho	9 16 51,645	40 41 35,200	8973632,830	314022,745	497,44	11,58
	Morro da Lagoa Comprida	8 41 40,047	41 05 46,695	9038286,106	269346,491	600,07	11,18
	Cainana	8 32 18,837	41 07 46,315	9055511,817	265592,800	642,72	11,25
	Pelado	8 35 05,167	38 57 12,919	9051050,561	505106,964	434,64	15,13
	Farsola	8 36 40,080	37 05 38,579	9047613,623	709747,477	866,70	19,64
	Mata Verde	8 28 27,149	37 03 59,619	9062744,497	712849,643	929,39	19,86
	Macambira	7 49 21,259	39 13 03,559	9135307,829	476004,167	621,43	16,20
	Serra Verde	8 15 05,831	36 17 59,140	9086875,251	797486,217	858,10	20,45
	Seixo	7 37 40,482	37 20 20,975	9156481,274	683210,942	694,73	20,17
	Guariba	8 31 32,114	35 40 03,947	9056579,449	206300,272	731,65	20,63
	Cidadão	8 17 42,799	35 16 07,586	9082347,412	250102,203	419,70	20,52
ALAGOAS	Bugio	9 21 17,139	37 08 24,826	8965383,552	704246,687	654,29	18,36
	Campo Alegre	9 46 13,322	36 23 03,742	8918860,520	786955,584	185,48	18,29
	Jussara	9 12 47,531	35 52 37,662	8980301,222	183822,612	579,21	19,75

							conclusão
ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	ΔN (m)
PIAUÍ	Mafrense	8 21 36,313	40 55 43,820	9075370,476	287594,750	652,30	11,91
	Topa	8 14 54,188	41 09 10,372	9087599,997	262845,333	643,12	11,44
	Vaca Brava	8 00 38,757	41 10 01,928	9113879,113	261126,362	437,65	11,56
	Santa Cruz	7 28 30,003	41 14 15,243	9173110,505	253054,768	525,54	11,50
	Simões	7 29 04,965	40 48 12,983	9172256,273	300969,776	728,17	12,62
	Duas Onças	6 39 04,933	41 07 56,672	9264279,810	264248,599	572,41	11,33
	Valença	6 21 56,606	41 28 28,128	9295709,107	226254,181	483,40	9,75
	Castello	5 29 52,546	41 43 11,178	9391607,107	198627,552	249,69	8,08
	Miringiba	5 32 28,989	41 27 12,859	9386926,810	228163,223	469,42	9,23
	Poti	4 54 36,913	41 21 34,133	9456792,878	238331,625	536,98	9,72
	Pê do Morro	4 26 58,097	41 41 57,440	9507640,346	200424,628	386,68	8,59
	Piripiri E.B.	4 03 43,830	41 23 01,100	9550608,369	235345,520	152,98	9,91
	Caxinga	3 19 55,488	41 44 43,604	9631274,492	194895,796	173,46	8,81
	Mutucas	2 58 20,767	41 38 21,175	9671101,914	206608,927	35,52	8,90
CEARÁ	Pitombeira	7 25 48,484	38 50 04,574	9178694,585	518251,021	392,72	17,82
	Pedra Grande	6 33 25,610	38 42 03,304	9275197,857	533064,370	840,09	18,50
	Esconso	5 45 34,992	38 28 51,661	9363330,231	557461,192	534,13	18,58
	Riacho	5 17 51,556	38 21 04,691	9414393,695	571879,224	116,32	18,83
	Tapera	4 56 02,372	38 07 15,266	9454565,904	597465,093	186,84	19,23
	Panelas	4 33 34,373	38 34 31,362	9496006,663	547101,821	388,15	18,50
	Preaoca	4 03 54,287	38 22 11,804	9550650,181	569935,735	141,22	18,63
	Fortaleza S. Base	3 59 26,200	38 31 32,520	9558893,729	552651,397	58,99	18,27
	Gigante	4 05 34,638	38 54 30,031	9547595,637	510173,449	885,60	17,59
	Pau D'Arco	3 38 45,141	39 04 49,105	9597014,302	491081,777	88,39	16,64
	Judeu	3 42 43,065	41 14 16,013	9589395,079	251445,874	715,85	10,36
	Chora	3 19 51,490	40 04 03,115	9631758,162	381402,481	288,64	13,42
PARAÍBA	Olho D'Água	6 38 51,787	38 16 25,846	9265132,919	580265,481	438,47	19,32
	Jabre	7 15 08,577	37 23 02,000	9198030,477	678427,210	1197,23	20,33
	Santo Antônio	7 20 36,868	35 47 48,043	9187303,262	191214,882	705,65	20,77
	Roma	6 45 04,410	35 33 28,088	9253007,313	217248,173	466,44	20,80
	Guariba II	6 47 26,751	35 25 13,789	9248710,217	232457,461	287,73	20,77
	Fidele	6 32 33,179	35 24 20,405	9276181,061	233963,531	206,53	20,94
RIO GRANDE DO NORTE	Mãe Luzia	6 38 13,076	37 16 02,391	9266045,679	691548,475	340,27	20,45
	Serra do Estreito	6 13 58,674	37 01 46,128	9310633,318	718025,005	441,22	20,57
	Canto Escuro	5 28 36,813	36 47 57,102	9394171,103	743844,082	55,01	20,75
	Açu	5 35 32,532	36 57 38,230	9381461,363	725906,997	110,02	20,61
	Maracajá	5 35 24,653	37 10 19,817	9381780,541	702465,333	133,93	20,42
	Bonfim	5 49 42,934	36 06 03,956	9354915,544	821054,770	514,50	21,13
	Umari	5 26 48,241	37 27 10,823	9397732,365	671390,790	78,99	20,11

**ANEXO 3 – COORDENADAS DE VÉRTICES DE TRIANGULAÇÃO**  
**SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA SAD 69 (REALIZAÇÃO 1996)**

Coordenadas de vértices de triangulação em SAD 69 (realização 1996) referentes aos pontos ajustados pelo IBGE.

As altitudes estão referidas ao marégrafo de Imbituba – Santa Catarina.

A ondulação geoidal ( $\Delta N$ ) apresentada é a mesma calculada para a realização inicial do SAD 69.

continua

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	$\Delta N$ (m)
ESPÍRITO SANTO	Coqueiral	20 05 03,2146	40 10 35,1878	7778756,809	376996,607	21,75	5,62
	Pedra Lajinha	20 00 23,6554	41 05 51,6396	7786409,045	280542,456	1300,52	5,05
	Serra Valentim	20 19 45,4678	41 28 26,3840	7750131,947	241687,296	1652,72	4,95
	Cavalo	19 54 22,5546	40 20 43,3020	7798320,721	359174,503	729,18	5,59
	Boa Vista	19 59 31,6031	40 51 27,0860	7788306,627	305656,647	1174,24	5,16
	Quitiba	20 10 27,5554	40 16 15,9230	7768712,264	367175,509	126,11	5,48
MINAS GERAIS	Fortaleza	20 11 43,5990	41 39 59,6628	7764643,082	221330,253	1440,54	5,07
	São Joaquim	20 03 08,6110	41 34 05,6088	7780648,033	231369,021	1333,82	5,06
	Canadá	20 13 16,9314	41 53 33,8949	7761374,831	197729,137	1031,41	5,20
	Três Irmãos	16 21 12,1342	41 26 31,8033	8190403,644	239104,957	1045,06	8,65
	Córrego Pedra	18 01 39,6477	41 27 47,2724	8005009,672	239220,861	720,23	6,67
	Córrego Paty	19 16 37,3489	41 58 08,8085	7865839,430	187910,823	584,91	5,49
	Segredo	20 08 27,0120	44 39 13,1248	7772888,217	536198,430	1104,61	3,92
	Pederneiras	19 44 33,6591	46 29 54,1427	7816291,841	342994,769	1233,06	2,07
	Uberaba ME	19 45 53,9801	47 57 39,1968	7811803,611	189710,218	801,95	0,39
	Cabeça da Onça	17 09 27,1788	44 44 56,8982	8102992,122	526680,278	819,79	2,24
	Rocha Negra	21 59 55,6540	43 06 12,3503	7566084,097	695793,756	747,84	4,20
	Olinto	19 29 35,3852	46 56 00,0081	7843453,634	297092,730	1065,97	1,62
	Fazenda Paraíso	20 53 06,4520	47 01 47,7384	7689223,862	288837,129	1052,31	0,40
	Palmeira	20 07 17,9979	42 07 22,0801	7772447,302	800836,505	1608,86	5,37
	Criminoso	21 31 59,5526	43 25 18,9997	7618004,350	663431,708	1076,03	4,63
BAHIA	Buracão	19 38 40,2645	48 58 26,2820	7826584,967	712440,575	700,70	0,03
	Sêco	12 37 47,5977	39 42 07,2574	8603686,024	423759,194	454,78	9,34
	São Roque	13 25 27,6997	40 11 51,4381	8515615,273	370343,524	984,12	8,24
	São Pedro	14 42 00,8687	40 26 00,3264	8374332,641	345668,956	976,65	9,64
	Chapada dos Macacos	15 44 13,5058	41 12 47,0243	8258897,885	262862,352	967,59	8,76

## conclusão

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	ΔN (m)
SÃO PAULO	Boa Vista	21 44 20,1673	46 52 09,5050	7594892,119	306671,637	1066,56	-0,35
	Santa Maria I	22 03 53,8198	47 59 05,8032	7556959,091	191930,093	814,58	-4,19
	Olhos D'Água	21 55 50,1663	47 02 48,0229	7573435,490	288604,643	716,87	-1,21
	Ribeiro	22 34 16,3603	44 45 15,3984	7503916,338	525261,016	766,31	3,54
	Jambeiro	23 14 00,2763	45 43 05,5002	7430450,880	426523,890	938,01	2,44
	Jaraguá	23 27 28,8161	46 45 59,2060	7404661,390	319568,116	1133,12	0,78
	Casa da Pedra	23 47 13,4679	47 19 15,5039	7367405,097	263499,733	1211,25	0,69
	Capuavinha	23 46 44,5642	47 55 31,5698	7367155,944	201855,833	788,01	0,40
	São Francisco	22 04 40,6228	49 01 40,8260	7557220,059	703469,084	567,97	-4,44
	Alto Alegre	21 49 38,8254	50 21 44,4706	7586126,856	565899,022	494,16	-0,55
	Brasilândia	22 01 02,3746	50 58 34,8801	7565246,664	502440,309	482,97	1,12
	Santo Anastácio	21 57 45,8325	51 40 17,6453	7571137,783	430660,669	466,76	1,74
	Vertentes	20 16 05,6022	49 01 48,7474	7757603,544	705731,079	526,24	0,58
	São João	21 07 29,6457	51 09 29,1266	7664012,828	483583,450	496,57	-0,77
RIO DE JANEIRO	Sta. Adelina	22 41 11,7509	50 53 01,2402	7491159,773	511948,266	416,32	2,37
	P. Machado	21 11 13,4182	50 57 40,4995	7657141,041	504022,230	467,59	-0,79
PARANÁ	Mirante	22 48 05,5232	43 11 26,8570	7477304,855	685702,602	98,36	3,42
	Formoso	22 09 11,7865	43 36 30,5743	7549542,008	643488,365	784,19	3,99
PARANÁ	Bela Vista do Paraíso	22 59 46,0154	51 11 15,8636	7456889,159	480759,486	623,23	3,23
	Califórnia	23 40 49,6726	51 21 19,3295	7381095,556	463766,031	845,59	3,51
	Tigre	24 10 54,3626	50 48 46,0840	7325627,076	519013,452	902,10	3,61
	Igreja Velha	24 35 34,2896	50 21 36,9688	7279973,367	564767,281	903,33	3,72
MATO GROSSO	Ruim	20 47 08,5928	51 46 40,5285	7701363,992	419034,230	425,56	-0,36
	Cambaúva	20 41 45,8777	52 23 13,6782	7710861,729	355535,943	385,12	0,97
	Cervo	20 14 15,9232	53 57 13,8289	7759446,833	191373,491	561,82	4,60
	Campo Verde	20 15 58,0433	55 01 58,8398	7757839,496	705440,955	362,78	7,14
	Juvêncio	20 11 50,3913	56 36 17,5286	7766624,949	541281,411	194,44	10,19
	Conselho	19 40 22,6903	57 33 09,6797	7824605,643	442066,496	381,24	12,47

Coordenadas de vértices de triangulação, em SAD 69 (realização 1996), referentes aos pontos ajustados pelo *U.S. Army Map Service*.

Uma Vida (Ba): 12° 39' 08,4478" S e 39° 32' 43,4071" W; N=8601242,884 m; E=440774,803 m; H=690,080 m;

$\Delta N=9,56$  m

So. Tanquinho(Ba): 12° 42' 32,0416" S e 39° 43' 50,1957" W; N=8594939,414 m; E=420678,101 m; H=255,20

m;  $\Delta N=9,15$  m

continua

ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	$\Delta N$ (m)
BAHIA	Caatinga	12 17 38,0525	38 57 06,9413	8640941,601	505227,340	231,32	11,47
	Canifista	11 30 48,9427	40 15 01,9001	8726929,644	363618,966	597,40	10,68
	Pedras Altas	11 09 08,7324	40 04 43,7263	8766947,932	382200,394	517,10	11,49
	Morro da Bananeira	12 34 15,2170	38 40 18,0537	8610289,734	535663,776	157,75	11,32
	São João	12 29 53,3497	38 35 34,7079	8618321,865	544225,909	176,55	11,61
	Candeias	12 40 38,4481	38 32 11,5204	8598495,353	550323,758	148,75	11,31
	Itiúba	10 39 55,5169	39 53 36,4256	8820869,605	402283,435	625,53	12,29
	Recreio	11 20 33,4714	39 00 01,0856	8746130,951	499967,096	484,38	13,38
	Coite	10 27 06,0191	39 52 13,3885	8844513,133	404740,524	805,24	12,47
	Serrote	11 11 06,6183	39 00 03,7406	8763541,653	499886,561	294,25	13,60
	Melancia	9 50 21,1752	40 06 20,1740	8912160,692	378764,117	631,85	12,32
	Serra do Sobrado	10 03 43,4796	39 30 28,9181	8887677,016	444331,595	928,87	13,40
	Corundundum	9 43 17,7518	39 19 55,8729	8925346,853	463562,917	717,35	13,78
	Esplanada	11 47 40,5288	37 56 53,8620	8695940,425	614579,951	154,87	13,83
	Saco da Barriguda	9 38 29,8295	39 06 54,5106	8934205,122	487367,336	581,68	14,15
	Sobrado	9 14 30,3122	40 47 29,7256	8977922,226	303180,297	527,09	11,38
	Taboleiro	10 09 04,2330	38 19 47,5604	8877793,370	573410,017	551,80	15,52
SERGIPE	Papagaio	11 16 20,3490	37 57 46,5114	8753705,277	613195,512	310,54	14,70
	Meio	9 55 10,7949	37 35 51,9441	8903141,688	653731,645	433,54	16,81
	Merem	10 38 16,8226	37 19 53,9501	8823551,258	682500,275	417,50	16,10
PERNAMBUCO	Riacho	9 16 51,7249	40 41 35,2925	8973630,362	314019,934	497,44	11,58
	Morro da Lagoa Comprida	8 41 40,1225	41 05 46,8039	9038283,769	269343,174	600,07	11,18
	Cainana	8 32 18,9107	41 07 46,4247	9055509,534	265589,456	642,72	11,25
	Pelado	8 35 05,2532	38 57 13,0638	9051047,914	505102,537	434,64	15,13
	Farsola	8 36 40,1825	37 05 38,7083	9047610,493	709743,506	866,70	19,64
	Mata Verde	8 28 27,2537	37 03 59,7512	9062741,301	712845,582	929,39	19,86
	Macambira	7 49 21,3507	39 13 03,7138	9135305,011	475999,428	621,43	16,20
	Serra Verde	8 15 05,9230	36 17 59,2644	9086872,448	797482,388	858,10	20,45
	Seixo	7 37 40,5921	37 20 21,0993	9156477,906	683207,119	694,73	20,17
	Guariba	8 31 32,1944	35 40 04,0522	9056576,957	206297,071	731,65	20,63
	Cidadão	8 17 42,8865	35 16 07,6906	9082344,704	250099,017	419,70	20,52
ALAGOAS	Bugio	9 21 17,2305	37 08 24,9478	8965380,759	704242,955	654,29	18,36
	Campo Alegre	9 46 13,4024	36 23 03,8617	8918858,078	786951,915	185,48	18,29
	Jussara	9 12 47,6025	35 52 37,7692	8980298,996	183819,355	579,21	19,75

							conclusão
ESTADO	VÉRTICE	Latitude (S) ° ' "	Longitude (W) ° ' "	N (m)	E (m)	H (m)	ΔN (m)
PIAUÍ	Mafrense	8 21 36,3897	40 55 43,9257	9075368,103	287591,526	652,30	11,91
	Topa	8 14 54,2647	41 09 10,4709	9087597,622	262842,319	643,12	11,44
	Vaca Brava	8 00 38,8458	41 10 02,0225	9113876,368	261123,482	437,65	11,56
	Santa Cruz	7 28 30,1088	41 14 15,3255	9173107,241	253052,254	525,54	11,50
	Simões	7 29 05,0787	40 48 13,0806	9172252,767	300966,798	728,17	12,62
	Duas Onças	6 39 05,0607	41 07 56,7543	9264275,875	264246,089	572,41	11,33
	Valença	6 21 56,7470	41 28 28,1977	9295704,763	226252,059	483,40	9,75
	Castello	5 29 52,6956	41 43 11,2463	9391602,497	198625,469	249,69	8,08
	Miringiba	5 32 29,1414	41 27 12,9253	9386922,116	228161,202	469,42	9,23
	Poti	4 54 37,0552	41 21 34,1852	9456788,504	238330,032	536,98	9,72
	Pé do Morro	4 26 58,2228	41 41 57,4987	9507636,471	200422,832	386,68	8,59
	Piripiri E.B.	4 03 43,9389	41 23 01,1540	9550605,017	235343,864	152,98	9,91
	Caxinga	3 19 55,5944	41 44 43,6703	9631271,214	194893,758	173,46	8,81
	Mutucas	2 58 20,8666	41 38 21,2471	9671098,847	206606,707	35,52	8,90
CEARÁ	Pitimbeira	7 25 48,5662	38 50 04,7268	9178692,063	518246,335	392,72	17,82
	Pedra Grande	6 33 25,6870	38 42 03,4519	9275195,494	533059,828	840,09	18,50
	Esconso	5 45 34,9975	38 28 51,7842	9363327,917	557457,400	534,13	18,58
	Riacho	5 17 51,6416	38 21 04,8065	9414391,069	571875,666	116,32	18,83
	Tapera	4 56 02,4788	38 07 15,3781	9454562,629	597461,636	186,84	19,23
	Panelas	4 33 34,5061	38 34 31,4526	9496002,579	547099,026	388,15	18,50
	Preaoca	4 03 54,4444	38 22 11,8966	9550645,349	569932,875	141,22	18,63
	Fortaleza S. Base	3 59 26,3582	38 31 32,6063	9558888,872	552648,732	58,99	18,27
	Gigante	4 05 34,7816	38 54 30,1001	9547591,226	510171,317	885,60	17,59
	Pau D'Arco	3 38 45,2968	39 04 49,1512	9597009,519	491080,354	88,39	16,64
	Judeu	3 42 43,1655	41 14 16,0735	9589391,985	251444,015	715,85	10,36
	Chora	3 19 51,6012	40 04 03,1359	9631754,747	381401,840	288,64	13,42
PARAÍBA	Olho D'Água	6 38 51,8746	38 16 25,9947	9265130,237	580260,910	438,47	19,32
	Jabre	7 15 08,6916	37 23 02,1253	9198026,970	678423,354	1197,23	20,33
	Santo Antônio	7 20 36,9424	35 47 48,1281	9187300,958	191212,284	705,65	20,77
	Roma	6 45 04,4787	35 33 28,1696	9253005,189	217245,676	466,44	20,80
	Guariba II	6 47 26,8177	35 25 13,8666	9248708,154	232455,086	287,73	20,77
	Fidele	6 32 33,2386	35 24 20,4919	9276179,217	233960,869	206,53	20,94
RIO GRANDE DO NORTE	Mãe Luzia	6 38 13,1830	37 16 02,5261	9266042,405	691544,314	340,27	20,45
	Serra do Estreito	6 13 58,7794	37 01 46,2645	9310630,096	718020,796	441,22	20,57
	Canto Escuro	5 28 36,9021	36 47 57,2420	9394168,381	743839,760	55,01	20,75
	Açu	5 35 32,6205	36 57 38,3690	9381458,659	725902,709	110,02	20,61
	Maracajá	5 35 24,7427	37 10 19,9670	9381777,799	702460,706	133,93	20,42
	Bonfim	5 49 43,0112	36 06 04,0814	9354913,191	821050,898	514,50	21,13
	Umari	5 26 48,3299	37 27 10,9727	9397729,644	671386,175	78,99	20,11